

**23** semana del **IICO**  
**TECNOLOGÍA FOTÓNICA:**  
**FUTURO CUÁNTICO**  
del **28 de abril al 5 de mayo** de 2023

**MEMORIAS DE LA XXIII SEMANA DEL IICO**

**GUSTAVO DEL CASTILLO Y GAMA**

**PREMIO DE INSTRUMENTACIÓN Y ELECTRÓNICA 2023**

# Diseño Gráfico y Formación

Dr. Luis Felipe Lastras Martínez

Dra. Marcela Mejía Carlos

Ing. Liliana del Carmen Mendoza Tello

C.P. Carla Gabriela Morán Flores

Gael Alberto Segura de la Vega

## Responsable de la edición

Dr. Daniel Ulises Campos Delgado

ISBN:978-607-9343-37-8

© Instituto de Investigación en Comunicación Óptica, UASLP.

## Presentación

El premio de Instrumentación y Electrónica “*Gustavo del Castillo y Gama*” se ha constituido en un excelente espacio para el desarrollo y discusión de ideas para los estudiantes de licenciatura y posgrado de las áreas de Física, Matemáticas e Ingeniería, principalmente. Esto se puede constatar, analizando el desarrollo que el premio ha tenido en los últimos 20 años. El desarrollo y complejidad de los proyectos es cada vez más alto, así como el interés en participar de estudiantes tanto de nuestra Universidad como de instituciones de nivel superior de la Ciudad y de la región. En esta ocasión se presentaron 13 proyectos con temáticas que van desde la instrumentación científica y tecnológica, desarrollo de Software y aplicaciones para diversos campos de la ingeniería. Todos los proyectos presentados son de gran calidad y han sido desarrollados por estudiantes y profesores de las siguientes instituciones de educación superior: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Tecnológico Nacional de México, Grupo CEDVA, Universidad de Guadalajara, Cecyte plantel II real de minas e Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.

Quisiéramos agradecer al jurado del premio por el interés y profesionalismo que mostraron. En esta ocasión el jurado estuvo formado por los investigadores: Dr. Mario Arturo González García, Dr. Jorge Luis Puebla Núñez y MIA. José Luis Torres Torreblanca. Muchas gracias nuevamente.

Comité organizador

San Luis Potosí, S.L.P. mayo 2023

## **Rector**

Dr. Alejandro Javier Zermeño Guerra

## **Secretario General**

M. en D. Federico Arturo Garza Herrera

## **Director**

Dr. Daniel Ulises Campos Delgado

## **Comité organizador del concurso**

Dr. Miguel Ángel Lastras Montaña

Dr. Luis Felipe Lastras Martínez

Dra. Marcela Mejía Carlos

Ing. Liliana del Carmen Mendoza Tello

C.P. Carla Gabriela Morán Flores

Ing. Francisco Ramírez Jacobo

Gael Alberto Segura de la Vega

## **Jurado**

Dr. Mario Arturo González García

Dr. Jorge Luis Puebla Núñez

MIA. José Luis Torres Torreblanca

## **Edición de memorias**

Dra. Marcela Mejía Carlos

Dr. Luis Felipe Lastras Martínez

Ing. Liliana del Carmen Mendoza Tello

C.P. Carla Gabriela Morán Flores

| <b>Índice</b>                                                                                                                                                                                                           | <b>Pág.</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>1 Amplificador Lock-In: un instrumento para científicos y espías</b><br>Esdras Terranova Azuara Juárez, Miguel Angel Lastras Montaña                                                                                 | 1           |
| <b>2 Interferómetro para la detección de ondas acústicas de flexión en una fibra óptica</b><br>Y. Navarro-Martínez, E. Hernández-Escobar, M. Bello-Jiménez, R. López-Estopier                                           | 4           |
| <b>3 Implementación de controlador digital PID a un motor de imanes permanentes para control de velocidad</b><br>Anell Diego, Hernández Miguel, López Oscar, Morales Irvin, Moreno Rafael, Noyola Gerardo               | 8           |
| <b>4 Fabricación de un sistema de barrido XY para la caracterización de celdas solares por luz monocromática</b><br>L. A. Navidad González, N. Almendarez Rodríguez, A. F. González, E. Rivera Bravo, I. Lara Velázquez | 12          |
| <b>5 Automatización escalable en sistemas de espectroscopia, programación Orientada a Objetos en LabVIEW</b><br>D.U. Herrera Serna, L. F. Lastras Martínez, C. A.Bravo Velasquez                                        | 15          |
| <b>6 Torno CNC para Madera Casero con Implementación de Arduino</b><br>Rocha Villanueva Ulises Herminio                                                                                                                 | 18          |
| <b>7 Fuente de voltaje y corriente programable.</b><br>Adiel Federico Madrigal Loredó, Axel Antonio Pardo Villalobos, Gerardo Zúñiga Torres                                                                             | 21          |

|    |                                                                                                                                                                                              |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8  | <b>Carro de control remoto manipulado por medio de comandos de voz</b>                                                                                                                       | 25 |
|    | A. Rodríguez Hernández, E. G. Briones Andrade, O. Núñez Olvera, F. Sánchez Niño                                                                                                              |    |
| 9  | <b>Sistema autónomo con control de parámetros para cultivos en interior</b>                                                                                                                  | 28 |
|    | Axel Emmanuel Ramírez González, Miguel Ángel Bello Jiménez.                                                                                                                                  |    |
| 10 | <b>Rehabilitación y Actualización de Brazo Robótico</b>                                                                                                                                      | 30 |
|    | Oscar Alan Viñarete, Dionisio Muñoz Rivera, Daniel Cardona Loredó, Luis David Chow Juárez, Omar Youshimats Mejia, Itham Araham Mendoza Avila, Diana Loredó Romero, Juan Almendárez Rodríguez |    |
| 11 | <b>Creación de entornos virtuales en Gazebo</b>                                                                                                                                              | 34 |
|    | F.A. Ruiz-Ponce, J.M. Fortuna-Cervantes, E. Rivera-Bravo                                                                                                                                     |    |
| 12 | <b>Túnel de viento</b>                                                                                                                                                                       | 37 |
|    | Sandra M. Orocio Tenorio, Durón Méndez Montserrat, Aldo Pérez Gómez, Abraham Isaac Nava Márquez, Joel Gonzáles Morales                                                                       |    |
| 13 | <b>Invernadero automatizado</b>                                                                                                                                                              | 40 |
|    | Margarita de Avril Castillo Molina, Valeria Geraldine Meléndez Medina, Andrea Joselin Zavala Espinosa, Jesús Salvador Quistian Pérez                                                         |    |

# Amplificador Lock-In: un instrumento para científicos y espías

Esdras Terranova Azuara Juárez, Miguel Angel Lastras Montaña  
Instituto de Investigación en Comunicación Óptica  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
San Luis Potosí, San Luis Potosí, México  
a199318@alumnos.uaslp.mx

**Resumen**—El amplificador lock-in es un instrumento que mide señales pequeñas acompañadas típicamente por ruido. Sin embargo, los mismos principios de funcionamiento que le permiten lograr lo anterior, también pueden ser aplicados para la modulación y demodulación de señales de amplitud modulada (AM). Gracias a esto, un amplificador lock-in puede ser implementado en varios arreglos que exploramos en el presente trabajo, como radio AM, como un instrumento para comunicación óptica por el espacio libre, y como micrófono láser para tareas de espionaje.

**Palabras Clave**—Modulación, demodulación, amplitud modulada, amplificador lock-in, instrumentación virtual, National Instruments, LabVIEW, PICE-6353.

## I. INTRODUCCIÓN

Los amplificadores lock-in son instrumentos científicos ampliamente usados en una gran diversidad de laboratorios, no obstante, gracias a su funcionamiento que veremos en la sección II, también puede encontrar aplicaciones fuera de un laboratorio. Exploraremos la capacidad del amplificador lock-in de demodular señales y funcionar como una radio AM, en la sección III. Además, la sección IV describirá un sistema de comunicación óptica por el espacio libre, en el que el amplificador lock-in nos permitirá multiplexar señales. Y, en la sección V, aplicaremos el amplificador lock-in en un micrófono láser, usado en actividades de espionaje y vigilancia. Por último, detallamos las conclusiones obtenidas de cada experimento realizado en la sección VI.

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un amplificador lock-in se puede representar en esencia como el esquema de la figura 1, compuesto de un multiplicador de señales y de un filtro paso bajo. Podemos describir el funcionamiento del multiplicador de señales con la ecuación 1, donde  $V_s \sin(\omega_s t + \theta_s)$  es la señal a medir y  $V_r \sin(\omega_r t + \theta_r)$  es la señal de referencia [1].

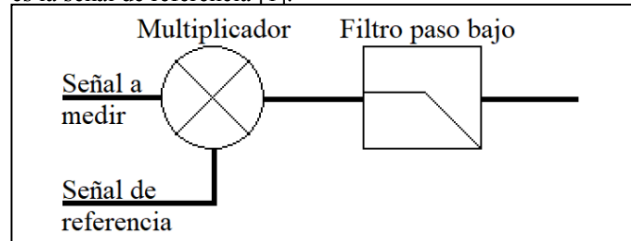


Figura 1. Esquema de un amplificador lock-in.

$$V_{mult}(t) = V_s V_r \sin(\omega_s t + \theta_s) \sin(\omega_r t + \theta_r) \quad (1)$$

Si aplicamos la identidad trigonométrica para la multiplicación de senos, llegamos a la ecuación 2.

$$V_{mult}(t) = \frac{1}{2} V_s V_r \cos([\omega_s - \omega_r]t + \theta_s - \theta_r) - \frac{1}{2} V_s V_r \cos([\omega_s + \omega_r]t + \theta_s + \theta_r) \quad (2)$$

Debemos recordar que la señal a medir y la señal de referencia deben tener la misma frecuencia, por lo tanto, nos queda una señal que es independiente del tiempo y que el filtro dejará pasar, y una señal al doble de la frecuencia de referencia que será suprimida, esto nos conducirá a la ecuación 3, de la cual despejando podremos conocer  $V_s$ , la amplitud de la señal que buscamos medir.

$$V_{filtro} = \frac{1}{2} V_s V_r \cos(\theta_s - \theta_r) \quad (3)$$

### A. Modulación

Hasta aquí tenemos matemáticas que nos describen el principal funcionamiento de un amplificador lock-in. Gracias a esto podemos identificar que la ecuación 2, representa también una señal de amplitud modulada, donde la señal a medir es una señal moduladora y la señal de referencia es el equivalente a una señal portadora, de hecho, este tipo de modulación es conocida como DSBSC (del inglés double-sideband suppressed carrier). Si además podemos modificar la frecuencia de corte del filtro paso bajo del amplificador lock-in, y con este eliminamos la componente de más alta frecuencia de la ecuación 2, la modulación se vuelve SSB (del inglés single-sideband) [2]. En este trabajo usamos DSBSC por simplicidad.

### B. Demodulación

Para realizar la demodulación de una señal AM con el amplificador lock-in, esta simplemente se alimenta a la entrada del instrumento, en el cual se multiplica por una señal sinusoidal a la misma frecuencia de la señal portadora. Podemos describir lo anterior si consideramos que la ecuación 2 representa ahora nuestra señal AM, y  $\sin(\omega_p t)$  es

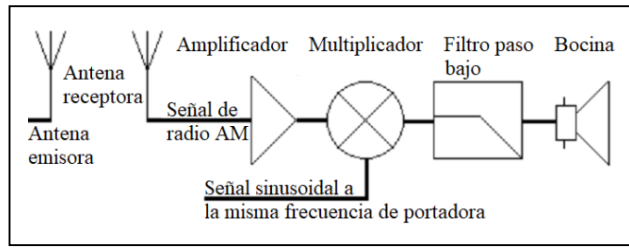


Figura 2. Arreglo para usar el amplificador lock-in como radio AM.

la señal a la frecuencia de la portadora, además de que haremos las diferencias de fase cero e igualaremos las amplitudes a la unidad para simplificar el análisis, así llegamos a la ecuación 4.

$$V_{demo}(t) = \left( \frac{1}{2} \cos([\omega_s - \omega_r]t) - \frac{1}{2} \cos([\omega_s + \omega_r]t) \right) \sin(\omega_p t) \quad (4)$$

Haciendo uso de las identidades trigonométricas para la multiplicación obtenemos la ecuación 5.

$$V_{demo}(t) = \frac{1}{4} \sin([\omega_s - \omega_r + \omega_p]t) - \frac{1}{4} \sin([\omega_s - \omega_r - \omega_p]t) - \frac{1}{4} \sin([\omega_s + \omega_r + \omega_p]t) + \frac{1}{4} \sin([\omega_s + \omega_r - \omega_p]t) \quad (5)$$

Podemos simplificar aún más la expresión, recordando que  $\omega_r = \omega_p$  y aplicando  $\sin(-\alpha) = -\sin(\alpha)$ , para llegar a la ecuación 6.

$$V_{demo}(t) = \frac{1}{2} \sin(\omega_s t) + \frac{1}{4} \sin([2\omega_p - \omega_s]t) - \frac{1}{4} \sin([2\omega_p + \omega_s]t) \quad (6)$$

Es fácil ver que con un filtro paso bajo eliminaríamos los componentes de alta frecuencia y es posible recuperar la señal que en un principio teníamos (antes de la modulación de amplitud).

### III. RADIO AM

Para probar el funcionamiento del amplificador lock-in como una radio AM, primero necesitamos una señal con amplitud modulada, logramos esto simplemente multiplicando la señal de audio (proveniente de un micrófono o archivo de música) por una señal sinusoidal a la frecuencia portadora, y el resultado de la multiplicación se escribe a una salida analógica de la tarjeta PICE-6353 de National Instruments, esto fue programado en LabVIEW. Hecho lo anterior, dispusimos un arreglo experimental como el esquema de la figura 2, la salida analógica está conectada a la antena emisora, mientras que una entrada analógica (también de la tarjeta) tiene una antena receptora, y de esta última antena obtenemos la señal para nuestro amplificador lock-in, el cual desarrollamos virtualmente también en LabVIEW. Es entonces que el instrumento virtual, amplifica la señal de la antena si llegó muy débil, después multiplica la señal modulada por una señal sinusoidal a la misma frecuencia portadora, y por último la filtra con un filtro paso bajo, con una frecuencia de corte cercana a la mayor frecuencia presente en nuestra señal de audio (4kHz si es voz y 22kHz para música). La salida del filtro es nuestra señal de audio original y la podemos escuchar en una bocina.

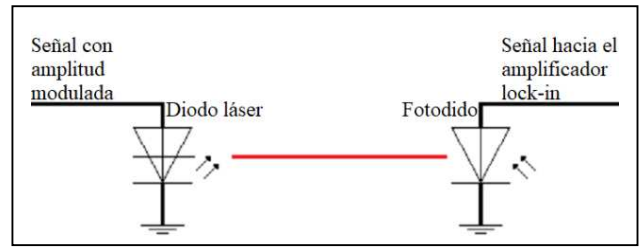


Figura 3. Arreglo para usar el amplificador lock-in en comunicación óptica por el espacio libre.

### IV. COMUNICACIÓN ÓPTICA POR EL ESPACIO LIBRE

Ahora bien, es sabido que cualquier persona que este dentro del rango de transmisión de una antena, y que posea un radio AM podría escuchar el mensaje emitido por la antena (que es la forma en la que día con día la gente disfruta de las estaciones de radio). Sin embargo, puede ser de interés tener privacidad y querer que el mensaje transmitido llegué solamente a un receptor deseado, aunque existen antenas direccionales que radian señales de forma más restringida en el espacio, se puede obtener aún más direccionalidad si en vez de señales de radio y antenas, usamos señales ópticas y optoelectrónica, de esta manera la antena emisora puede ser sustituida por un diodo láser y la antena receptora es sustituida por un fotodiodo, como en la figura 3, de esta manera el mensaje transmitido solamente podrá ser recibido en la zona puntual que el láser ilumine.

La demostración de este arreglo es muy similar a la sección anterior, primero creamos una señal de amplitud modulada con los métodos ya descritos, esta señal varía la intensidad del diodo láser, apuntando la luz hacia el fotodiodo, este registra dicha variación de intensidad y genera una corriente que tendremos que convertir a voltaje, este voltaje es entonces leído por nuestro amplificador lock-in virtual que demodula la señal y la reproduce en una bocina. Con este arreglo no solamente mostramos la comunicación óptica, sino que también es posible mandar más de una señal de audio (multiplicadas a distintas frecuencias portadoras), por medio de un solo diodo láser al mismo tiempo, y que podemos discriminar una señal de la otra, de manera similar a la que sintonizamos un radio.

### V. MICRÓFONO LÁSER

El micrófono láser es un dispositivo que nos permite espiar una conversación que tenga lugar cerca de una ventana, la idea es la siguiente, las ondas de sonido emitidas por las personas al hablar generan vibraciones en los objetos alrededor, de tal forma que una ventana se mueve de acorde al sonido, si reflejamos un láser sobre dicha ventana observaremos desplazamientos en la trayectoria del láser, causados a su vez por los desplazamientos de la ventana, así con un fotodetector podemos medir variaciones de intensidad de la luz láser, y por lo tanto escuchar el sonido que hace mover a la ventana.

El arreglo que nos permitirá probar lo anterior se muestra en la figura 4, también es necesario recalcar que, a diferencia de la sección III, la señal que alimenta al diodo láser no es la multiplicación de una señal de audio por una señal portadora, sino que es exclusivamente la señal sinusoidal con frecuencia portadora, la modulación en amplitud se da cuando la luz láser se refleja en la membrana reflectora, y obtenemos así nuestra señal modulada para que el amplificador lock-in haga

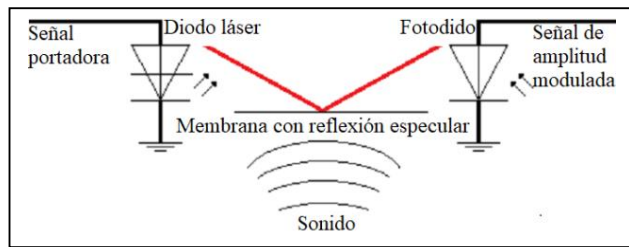


Figura 4. Arreglo para usar el amplificador lock-in como micrófono láser.

la demodulación y podamos escuchar el sonido que hace mover a la membrana.

## VI. CONCLUSIONES

El hecho de que podamos usar un amplificador lock-in como radio AM, implica la posibilidad de que con los ajustes necesarios también podríamos usar una radio AM como amplificador lock-in, lo que tal vez sea una oportunidad para fabricarlos con un bajo costo.

La aplicación de comunicación óptica por el espacio libre es una demostración didáctica que imita la forma en que se realizan las comunicaciones hoy en día, además de presentar el concepto de multiplexado de señales, que se podría usar en escuelas o museos.

El micrófono láser ya es un instrumento comercializado, pero como no conocemos de fabricantes en el país, se presenta como una oportunidad de negocio.

## REFERENCIAS

- [1] About Lock-In Amplifiers Application Note #3. Stanford Research Systems.
- [2] AT&T, Telecommunication Transmission Engineering, Volume 1—Principles, 2nd Edition, Bell Center for Technical Education (1977)

# Interferómetro para la detección de ondas acústicas de flexión en una fibra óptica

Y. Navarro-Martínez, E. Hernández-Escobar, M. Bello-Jiménez, R. López-Estopier  
*Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO), Universidad Autónoma de San Luis Potosí,  
 Av. Karakorum No. 1470 Lomas 4ta secc., 78210 San Luis Potosí, México Completa(Institución,*

**Resumen—** Este trabajo presenta una investigación experimental y teórica de un sensor de interferómetro de punta de fibra óptica diseñado para detectar ondas acústicas de flexión. Las características de la onda acústica son determinadas por parámetros como la amplitud, la potencia óptica y la atenuación. Se utilizaron dos técnicas, el análisis temporal y de frecuencia, para medir la amplitud de escala nanométrica de las ondas acústicas.

## I. INTRODUCCIÓN

Los interferómetros de fibra óptica actualmente son muy atractivos debido a su gran variedad de aplicaciones en las que pueden ser utilizados tanto en la industria como en la ciencia, tales como los sensores de presión [1,2], sensores de temperatura [3-5], medición de tensión [6,7] detección de variación de diámetro de fibra [8], entre otras. Algunas de las ventajas que presentan este tipo de dispositivos en comparación con otros sistemas son: alta resolución, bajo costo, fácil alineación y una alta estabilidad. El principio de operación de un interferómetro de fibra óptica se basa generalmente en la interferencia entre dos haces de luz que se propagan y viajan a través de diferentes caminos ópticos, dichos haces son llamados haz de medición y de referencia. En este trabajo, se analiza un sensor de interferómetro de fibra óptica para caracterizar la amplitud de las ondas acústicas de flexión que viajan a lo largo de una fibra óptica. Los resultados experimentales demuestran la eficiencia del sistema al detectar amplitudes nanométricas, además se presenta una caracterización a través de los parámetros de amplitud, potencia, atenuación, reflexión y velocidad de grupo.

## II. MONTAJE EXPERIMENTAL

El arreglo experimental empleado para la detección de amplitud de ondas acústicas de flexión se ilustra en la Figura 1. El interferómetro se encuentra constituido por un acoplador simétrico de cuatro puertos, mediante su puerto P1, es introducida una emisión láser proveniente de un diodo láser, centrada a una longitud de onda de 1550 nm y con una máxima potencia de 25 mW, adicionalmente ha sido colocado un aislador entre estos dos elementos para asegurar la operación unidireccional. Posteriormente la luz es transmitida a los puertos de salida. En el extremo P3 se ha realizado un corte en ángulo a 8° para evitar alguna posible reflexión, mientras que el puerto P4 es utilizado como brazo sensor del interferómetro, con esta finalidad es fijado en un montaje micrométrico constituido por una férula que se colocará cerca

de la superficie donde se medirá el desplazamiento, de tal manera que una parte de la luz en dirección a la fibra oscilante se regresa debido a la reflexión en la interfaz núcleo-aire ( $I_1$ ), mientras que el resto de la luz se refleja en la fibra bajo prueba, y es devuelto al puerto P4 del acoplador de fibra ( $I_2$ ). Ambos haces reflejados se combinan en el acoplador y generan una señal de interferencia ( $I$ ). Finalmente, esta intensidad es monitoreada en el puerto P2 del acoplador de fibra óptica utilizando un fotodetector (PD) de 13 MHz, un osciloscopio y un analizador de espectros ópticos de 3.5 GHz. Sobre un disco piezoeléctrico se coloca un cono de aluminio, en la punta de este se encuentra el inicio de la fibra óptica sin recubrimiento, que es la región de interacción con la onda acústica (23 cm). Al aplicar una señal de voltaje sinusoidal al disco piezoeléctrico, se genera una onda acústica de flexión que se propaga a lo largo de la región de interacción.

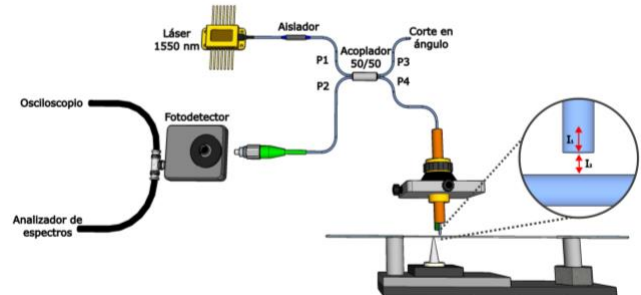


Figura 1. Arreglo experimental del interferómetro de fibras ópticas.

## III. DETECCIÓN DE ONDAS ACÚSTICAS

La señal de interferencia resultante fue analizada bajo dos métodos para poder medir el valor de la amplitud de la onda acústica de flexión que se propaga por la fibra óptica.

### A. Análisis temporal

La siguiente expresión matemática representa la variación de la intensidad óptica que resulta de la interferencia ( $I$ ), la cual depende de la distancia entre la punta de la fibra óptica del brazo sensor y la superficie que se está analizando

$$I = I_1 + I_2 + 2(I_1 I_2)^{(1/2)} \cos(4\pi d/\lambda + \varphi), \quad (1)$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda central de la luz que interfiere,  $d$  es la distancia entre la punta del brazo sensor y la superficie a evaluar, y  $\varphi$  es la fase inicial entre el haz de referencia ( $I_1$ ) y el de medición ( $I_2$ ). Para obtener una medición de este cambio en la intensidad, la intensidad óptica se convierte a una señal de voltaje gracias al fotodetector y el osciloscopio. En la figura 2 se muestra un ejemplo de la señal de voltaje resultante que se

presenta en el osciloscopio en gris. Para interpretar esta señal podemos describirla de la manera

$$V_t = V_{prom} + V_{max} \cos(4\pi d/\lambda + \varphi), \quad (2)$$

donde  $V_t$  representa la señal de voltaje que muestra el osciloscopio en el tiempo,  $V_{max}$  es la amplitud de la señal cuando se presenta un máximo y un mínimo en la interferencia y  $V_{prom}$  es el promedio de dichos máximos y mínimos. Para poder medir de manera óptima la amplitud de pequeñas oscilaciones que se presentan en la superficie que se está analizando, es necesario operar en la región lineal de la señal de interferencia  $V_{max}$ , esto ocurre cuando la diferencia de fase entre los haces  $I_1$  e  $I_2$  es cercana a un múltiplo impar de  $\pi/2$ , lo que se conoce como punto de cuadratura. Con ayuda de un actuador piezoeléctrico, se coloca la punta del brazo sensor a una distancia que cumpla con esta condición. La línea azul de la Figura 2 representa un ejemplo de una perturbación provocada por una onda acústica de flexión, medida bajo estas condiciones; mientras que la línea roja representa la señal obtenida al operar en el punto de cuadratura cuando la superficie a evaluar se mantiene fija.

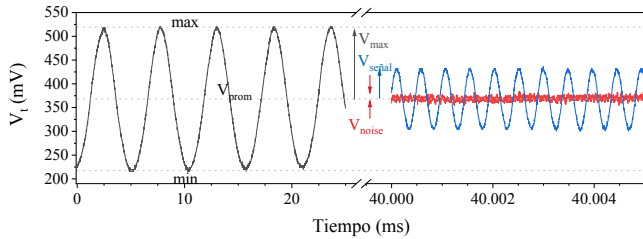


Figura 2. Señales de voltaje  $V_t$  medidas por el osciloscopio cuando se generan máximos y mínimos de interferencia (línea gris), cuando en el punto de cuadratura el sistema se mantiene fijo (línea roja) y cuando una onda acústica de flexión se propaga por la fibra a analizar (azul). La onda acústica se generó al aplicar una señal sinusoidal de 31  $V_{pico-pico}$  con una frecuencia de 2.071 MHz.

Bajo la condición de cuadratura, la señal de intensidad medida puede ser expresada como

$$V_{señal} = V_{max} \sin(4\pi d/\lambda), \quad (3)$$

donde  $V_{señal}$  es la amplitud de la señal de voltaje medida por el osciloscopio cuando el sistema opera en el punto de cuadratura. Al considerar un desplazamiento pequeño, de manera que se cumpla que  $4\pi d/\lambda \ll 1$ , la expresión (3) puede reescribirse como

$$d = (\lambda V_{señal}) / (4\pi V_{max}). \quad (4)$$

Al considerar la señal de ruido  $V_{ruido}$  como  $V_{señal}$  en la expresión (4) podemos obtener la amplitud mínima que podemos detectar con el sistema. Considerando el valor de  $V_{ruido} = 7.45$  mV, que se corresponde al resultado que se muestra en la Figura 2, el límite de detección es de 6.05 nm. Mientras que, para obtener la amplitud máxima que se puede detectar con el sistema, se considera el valor para el que se cumpla la condición de ángulo pequeño de la expresión (3), lo que ocurre para valor de 0.5 radianes; en este caso la amplitud máxima es de 60.22 nm. Cabe mencionar que el límite menor de detección puede mejorar al aumentar el número de promedios de la medición del osciloscopio para reducir la señal de ruido. En este trabajo se consideró un promedio de 4 mediciones, sin embargo, al aumentar este valor a 64 es

posible detectar una amplitud mínima de 1.95 nm.

### B. Análisis en frecuencia

Por otra parte, cuando el desplazamiento  $d$  es provocado por una onda acústica que oscila a una frecuencia angular  $\Omega$ , es posible desarrollar un análisis en frecuencia. En este caso, la distancia  $d$  varía como

$$d = d_0 + u_0 \sin(\Omega t), \quad (5)$$

donde  $u_0$  representa la amplitud de la onda acústica,  $t$  es el tiempo y  $d_0$  es la separación inicial entre la punta del brazo sensor y la fibra óptica que se desplaza. Al sustituir la expresión (5) en (2), obtenemos

$$V_t = V_{prom} + V_{max} \cos(4\pi/\lambda(d_0 + u_0 \sin(\Omega t)) + \varphi). \quad (6)$$

Al utilizar las relaciones de las funciones Bessel, la señal  $V_t$ , ahora dependiente del tiempo, puede expresarse como

$$V_t \propto \cos(4\pi d_0/\lambda + \varphi) [J_0(4\pi u_0/\lambda) + 2J_2(4\pi u_0/\lambda) \cos(2\Omega t) + \dots] - \sin(4\pi d_0/\lambda + \varphi) [2J_1(4\pi u_0/\lambda) \sin(2\Omega t) + 2J_3(4\pi u_0/\lambda) \sin(3\Omega t) + \dots] \quad (7)$$

donde  $J_n$  hace referencia a las funciones Bessel de primer tipo y orden  $n$ . Esta expresión representa la suma de los armónicos de la frecuencia de vibración  $\Omega$ , donde la amplitud de cada armónico es una función Bessel que depende de  $u_0$ .

Un analizador de espectros nos permite cuantificar la amplitud de voltaje que corresponde a un rango de frecuencias, como se puede observar en la Figura 3.

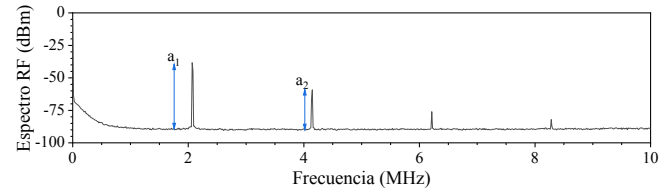


Figura 3. Señal leída por el analizador de espectros cuando una onda acústica de flexión se propaga por la fibra a analizar.

Los picos que se observan corresponden a los armónicos de la frecuencia  $\Omega$ . Llamamos  $a_1$  y  $a_2$  a las amplitudes del primer y segundo armónico de  $\Omega$ , correspondientemente. Para considerar una toma de datos correcta, debemos considerar un promedio de lecturas que permita que los términos  $\cos(4\pi d_0/\lambda + \varphi)$  y  $\sin(4\pi d_0/\lambda + \varphi)$  de la expresión (7). Entonces  $a_1$  y  $a_2$  se pueden relacionar con las funciones de Bessel como

$$a_1/a_2 = J_1(4\pi u_0/\lambda) / J_2(4\pi u_0/\lambda) \quad (8)$$

Al resolver esta última expresión de manera numérica, podemos encontrar el valor de  $u_0$ , es decir, la amplitud de la onda acústica de flexión que se propaga en la fibra óptica. En el sistema se presenta una frecuencia óptima de operación, la Figura 4 muestra los picos obtenidos al variar la frecuencia de la señal sinusoidal que se aplica al piezoeléctrico para generar la onda acústica, en este caso, la frecuencia óptima de operación se encuentra en 2.071 MHz, al cual le corresponde una longitud de onda de acoplamiento de 1584 nm.

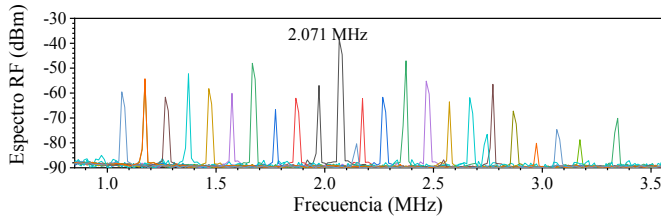


Figura 4. Diferentes espectros RF obtenidos al aplicar diferentes frecuencias al piezoeléctrico que genera la onda acústica, de 0.9 a 3.1 MHz.

Bajo este análisis, la amplitud mínima que es posible detectar se limita por que la señal  $a_2$  del segundo armónico se pueda diferenciar en la señal del analizador de espectros, en nuestro caso corresponde a un valor de 10 nm. En el caso de la amplitud máxima que se puede detectar, consideramos que  $a_1$  debe ser mayor a  $a_2$ , lo que resulta en un valor de 650 nm.

### C. Comparación de métodos

La Figura 5 presenta una comparación entre el análisis temporal y en frecuencias al medir la amplitud de una onda acústica variando el voltaje pico-pico de la señal sinusoidal de 2.071 MHz que se aplica al disco piezoeléctrico. Además, se muestra un ajuste lineal para cada método y sus respectivas barras de error de 5%. Para el análisis temporal, el ajuste lineal presenta una pendiente de cambio de 1.818 nm/V, mientras que para el análisis en frecuencia tiene un valor de 1.838 nm/V, un valor similar. Sin embargo, comparando las barras de error con el ajuste lineal, en el caso temporal se presenta un ajuste más preciso.

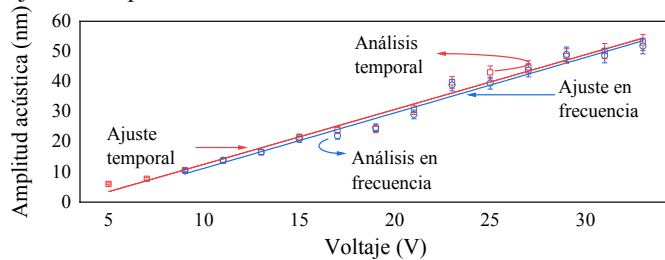


Figura 5. Amplitud de la onda acústica medida en función del voltaje aplicado al disco piezoeléctrico que genera la onda acústica bajo un análisis temporal y en frecuencias.

También es posible evaluar la respuesta del transductor piezoeléctrico a través de la potencia acústica ( $P_a$ ) entregada por el detector piezoeléctrico, la cual se describe por:

$$P_a = 4\rho\omega^2(\pi C_{ext}R^5f_a^5)^{1/2}, \quad (9)$$

donde  $\rho$  es la densidad del material,  $C_{ext}$  es la velocidad extensional de propagación de las ondas en la fibra óptica,  $R$  es el radio de la fibra y  $f_a$  es la frecuencia de la onda acústica. La Figura 6 ilustra la potencia acústica como función del voltaje aplicado y su amplitud acústica correspondiente junto con un ajuste de segundo orden.

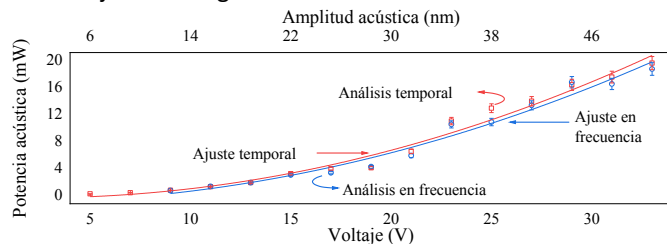


Figura 6. Potencia acústica del disco piezoeléctrico en función del voltaje

aplicado al mismo y la amplitud de la onda acústica que se propaga a lo largo de la fibra.

### IV. ANÁLISIS E LA PROPAGACIÓN DE ONDAS ACÚSTICAS

Con el objetivo de analizar cómo decremanta la onda acústica a lo largo de la región de interacción, la Figura 8 muestra la amplitud de la onda acústica medida en diferentes longitudes a lo largo de un metro de fibra óptica. Para esta medición, tanto la frecuencia como el voltaje se mantuvieron fijos en 2.071 MHz y 33 V, respectivamente. La disminución se aproxima con una función exponencial del tipo  $u_0 = Ae^{-\alpha z}$ , donde  $A$  es la amplitud inicial,  $z$  es la distancia a lo largo de la fibra y  $\alpha$  es el coeficiente de atenuación de la onda acústica. A través de este ajuste, se obtiene un coeficiente de atenuación de 0.736 dB/m, como indica la curva de ajuste.

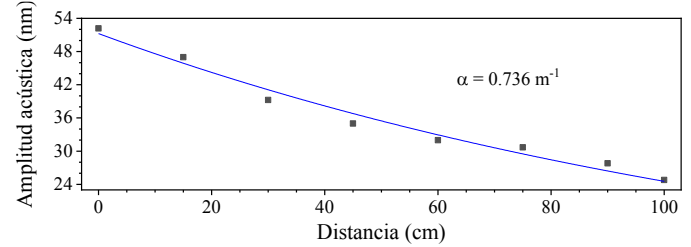


Figura 7. Amplitud de la onda acústica en función de la distancia a lo largo de 1 m de fibra óptica. Estas mediciones fueron obtenidas bajo un método de análisis en frecuencias. En este caso, la frecuencia y el voltaje aplicados al piezoeléctrico se mantienen fijos en 2.017 y 33V.

### V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el análisis teórico y experimental de un interferómetro de Fabry-Perot para la detección de ondas acústicas de flexión en fibra ópticas. La respuesta del interferómetro fue analizada mediante los parámetros de tiempo y frecuencia. Experimentalmente, el estudio en tiempo demuestra la obtención de una amplitud mínima y máxima con valores de 6.05 y 60.22 nm, respectivamente, mientras que utilizando el método de análisis de frecuencia se detecta un mínimo y máximo de 10 y 650 nm, respectivamente. Basados en estos datos es posible estimar que la amplitud de onda acústica se propaga a través de la fibra a una razón de 0.736 dB/m. Estos resultados demuestran la utilidad de ambos métodos y su aplicación para la caracterización de diferentes dispositivos de fibra óptica basados en ondas acústicas de flexión.

### REFERENCIAS

- [1] A. Wang, H. Xiao, J. Wang, Z. Wang, W. Zhao, and R. G. May, “Self-calibrated interferometric-intensity based optical fiber sensors,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 19, no. 10, pp. 1495-1501, 2001
- [2] X. Wang, J. Xu, Y. Zhu, K. L. Cooper, and A. Wang, “All-fused-silica miniature optical fiber tip pressure sensor,” *Opt. Lett.* 31(7), 885-887 (2006).
- [3] H. Y. Choi, K. S. Park, S. J. Park, U.-C. Paek, B. H. Lee, and E. S. Choi, “Miniature fiber-optic high temperature sensor based on a hybrid structured Fabry-Perot interferometer,” *Opt. Lett.* 33(21), 2455-2457 (2008)
- [4] C. E. Lee and H. F. Taylor, “Fiber-optic Fabry-Pérot temperature sensor using a low-coherence source,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 129-134, 1991
- [5] A. N. Starodumov, L. A. Zenteno, D. Monzon, and E. De La Rosa, “Fiber Sagnac interferometer temperature sensor,” *Appl. Phys. Lett.* 70(1), 19-21 (1997)

- [6] J. Villatoro, V. Finazzi, V. P. Minkovich, V. Pruneri, and G. Badenes, “Temperature-insensitive photonic crystal fiber interferometer for absolute strain sensing,” *Appl. Phys. Lett.* 91(9), 091109 (2007).
- [7] Y. Du, Y. Chen, Y. Zhuang, C. Zhu, F. Tang, and J. Huang, “Probing nanostrain via a mechanically designed optical fiber interferometer,” *IEEE Photonics Technol. Lett.* 29(16), 1348–1351 (2017).
- [8] E. P. Alcusa-Sáez, A. Díez, M. González-Herráez, and M. V. Andrés, “Time-resolved acousto-optic interaction in single-mode optical fibers: characterization of axial nonuniformities at the nanometer scale,” *Opt. Lett.* 39, 1437-1440 (2014)

# Implementación de controlador digital PID a un motor de imanes permanentes para control de velocidad

Anell Diego, Hernández Miguel, López Oscar, Morales Irvin, Moreno Rafael, Noyola Gerardo

*Área Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería, UASLP*

**Resumen—** En este documento se describe el desarrollo de un circuito de control que permite regular la velocidad de un motor de corriente directa de imanes permanentes mediante la utilización de un controlador PID digital y un microcontrolador. Se utilizó el método de mínimos cuadrados para identificar la función de transferencia del motor y se sintonizó el controlador mediante el método de Ziegler-Nichols. De esta manera, se logra obtener la velocidad deseada del motor en RPM y se implementó un sistema de adquisición de datos que permite visualizar gráficamente los resultados obtenidos donde el rango de control de velocidad es de 0 a 9600 RPM.

**Abstract—** This document contains the creation of a circuit capable of regulating the speed of a permanent magnet DC motor with a digital PID controller programmed in a microcontroller. The minimum square method was used to obtain the transfer function and the controller was syntonised by means of the Ziegler-Nichols method. In this way, it was possible to get the required speed of the motor in RPM where it was implemented a data acquisition system, which allowed to have a graphic representation of the resulting data.

## I. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo de investigación es implementar un controlador digital en un microcontrolador para regular la velocidad de giro de un motor de corriente directa de una manera precisa y estable, e incorporar un sistema de adquisición de datos que permita medir y mostrar de manera gráfica la evolución de la velocidad del motor a lo largo del tiempo. Con esto se trata de mejorar la eficiencia y la precisión para poder aplicar el sistema de control en diversos campos como la industria, automatización, robótica, entre otros.

## II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gran mayoría de los controles automáticos utilizados en aplicaciones industriales, domésticas, automotrices y otros, se implementan en forma digital. Esta implementación se basa principalmente en microcontroladores o computadoras. Por lo tanto, es importante comprender los efectos que se producen cuando se controla un sistema físico de naturaleza continua, como lo son la mayoría de los procesos industriales.

Durante el semestre 2022-2023/I, como parte de la materia de Ingeniería de Control II de la Facultad de Ingeniería - UASLP, se llevó a cabo un proyecto final centrado en el desarrollo de un control digital utilizando el microcontrolador Atmega 328P

y la técnica de Modulación de Ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés). El proyecto se enfocó en obtener la velocidad de giro de un motor de corriente directa a través de un encoder de cuadratura de efecto Hall. Para determinar la función de transferencia del sistema, se aplicó el método de mínimos cuadrados y se utilizó un sistema de adquisición de datos con un periodo de muestreo determinado para medir la velocidad del motor en RPM provista por los pulsos del encoder a lo largo del tiempo, y analizar su comportamiento transitorio hasta alcanzar el régimen permanente. Con estos resultados, se desarrolló un controlador PID digital, cuyos parámetros fueron sintonizados mediante el método de Ziegler-Nichols. El controlador fue implementado a través de la ecuación de diferencias de esta forma se logró reducir significativamente el error en estado estable y mantener el motor en la velocidad deseada.

## III. DESARROLLO

### A. Sistema que controlar

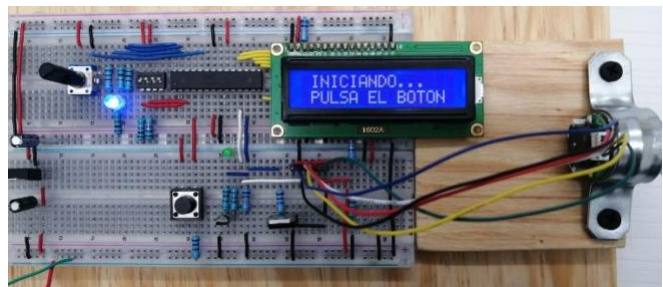


Figura 1 Circuito eléctrico antes de iniciar el proceso de muestreo

A continuación, se presenta el sistema de control, (Figura 2) para la realización del control de la velocidad de un motor de corriente directa.

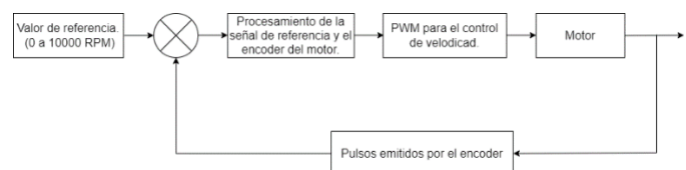


Figura 2 Diagrama de bloques del proceso de control

El encoder de efecto Hall acoplado al motor nos provee 12 pulsos por revolución lo que la resolución se adecuaba a las necesidades. Para el control del PWM se empleó un transistor TIP122 el cual conmutaba entre la región de corte y saturación

para alimentar el motor a 12 V, empleando un periodo de muestreo de **20 ms** pudimos obtener la curva de velocidades que será importante a analizar.

#### A. Pseudocódigo de muestreo

Para la elaboración del programa de muestreo se desarrolló una interfaz sencilla donde el usuario interactúa con el programa, y se emplean los temporizadores, y periféricos del microcontrolador Atmega328 permitiendo 6 canales PWM, así como el uso de contadores que permiten ejecutar el programa principal. (Atmel Corporation, 2015). El *timer 1* ejecuta los pulsos emitidos por el encoder acoplado al motor; el *timer 2* configurado en modo CTC realiza una interrupción por comparación cada periodo determinado. Al finalizar el muestreo se selecciona la opción de pasar al despliegue de datos adquiridos.

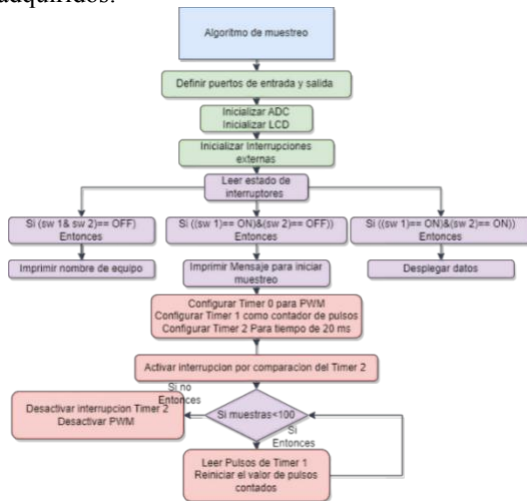


Figura 3. Pseudocódigo del proceso de muestreo.

#### B. Valores obtenidos en el muestreo

Al finalizar el proceso de muestreo con un periodo de **20 ms** se observa que al paso de 15 muestras se llega al estado estable, por lo cual se considera un intervalo de 16 muestras para emplear el método de mínimos cuadrados y así obtener la función de transferencia del motor.



Figura 4. Obtención de las muestras.

#### C. Obtención de la función de transferencia

Mediante el método de ajuste por mínimos cuadrados se obtiene una aproximación en base a los datos experimentales obtenidos en el muestreo.

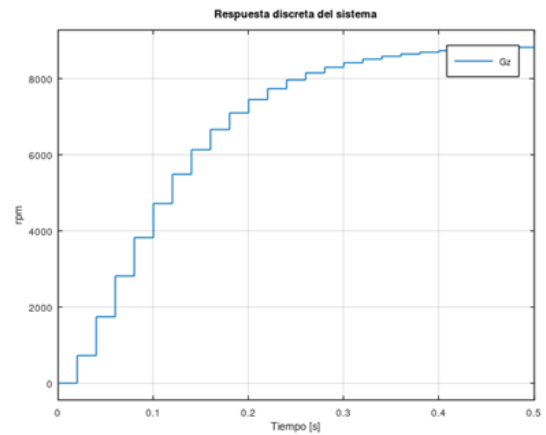


Figura 5. Respuesta del sistema ante una entrada escalón unitario.

La función de Transferencia de la planta está dada por:

$$G(s) = \frac{3750s - 1357}{s^2 - 0.7585s + 0.03291} \quad (1)$$

```

3 close all
4 pkg load control
5 Ye=[0,0,3750,6250,8000,8500,8750,8000,...
6 8250,8250,8250,8500,8500,8500,8500,8750,...
7 8750,8500,8500,8750,8750,8750,8750,8750,9000];
8 u=[0 0 zeros(1,length(Ye)-2)];
9 for i=length(Ye)-2
10     X(i,1)=Ye(i+1);
11     X(i,2)=Ye(i);
12     X(i,3)=u(i+1);
13     X(i,4)=u(i);
14 endfor
15 X
16 %
17 %Ye=[1:100]';
18 theta=inv(X'*X)*X'*Y
19 G=tf([theta(3) theta(4)], [1 theta(2) theta(3)],0.02)
20
21 t=[0:0.02:0.40];
22 figure(1)
23 step(Gz)
24 hold on
25 plot(t,Y,'o')
26 legend('Mínimo cuadrados','Datos muestreados')
27 hold off
28 title('Aproximación por mínimos cuadrados');
29 xlabel('Tiempo [s]');
30 ylabel('omega [rpm]');

```

Figura 6. Script utilizado para obtener la función de transferencia de la planta.

#### D. Diseño de control digital

Los controladores PID (proporcional, integral y derivativo) son ampliamente utilizados en la industria como sistemas de control (Castaño Sergio, 2019)

Para el diseño del controlador PID se empleó el método gráfico que describe el método de Ziegler-Nichols, pasando el sistema a una aproximación continua en el tiempo por lo que los parámetros obtenidos permiten determinar los parámetros para el controlador en lazo cerrado.

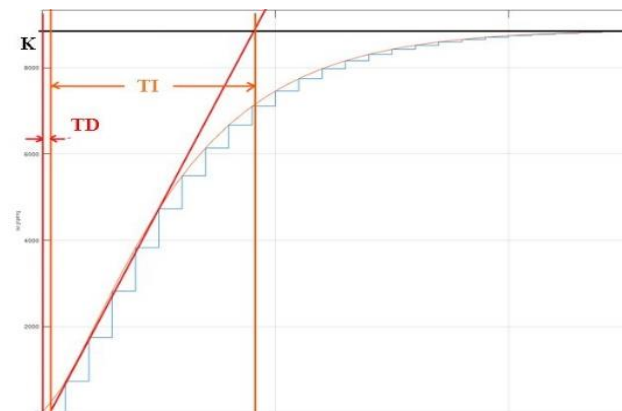


Figura 7. Gráfica empleada para obtención de los parámetros.

Donde obtuvimos que:

$$K = 8500, T_D = 0.0077, T_I = 0.18$$

Utilizando las ecuaciones establecidas por el método se obtienen las diversas constantes para el diseño.

Constante proporcional  $K_p$

$$K_p = \frac{1.2 T_I}{K * T_d} \quad (2)$$

$$K_p = 0.00330$$

Constante derivativa  $K_d$

$$K_d = K_p * T_D \quad (3)$$

$$K_d = 0.000012705$$

Constante integral  $K_i$

$$K_i = \frac{K_p}{T_I} \quad (4)$$

$$K_i = 0.214285$$

La función de transferencia del controlador esta expresada por la siguiente ecuación:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s \right] \quad (5)$$

Sustituyendo los valores que la siguiente expresión:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{195.65 * 10^{-9} s^2 + 5.082 * 10^{-8} s + 0.0033}{0.0154 s} \quad (6)$$

Kp=0.0033  
Ti=0.0154  
Td=0.00385

T1 = (Kp) \* (Ti) \* (Td)  
T2 = (Kp) \* (Ti)

Gcont = tf([T1 T2 Kp],[Ti 0]); %Función de transferencia del2 controlador  
Gfin = GzC\*Gcont; %Multiplicación de la funcion en T.Continuo y la del controlador  
GHs = feedback(Gfin,1) %Funcion final realimentada unitariamente.

Figura 8. Script para simular la respuesta ante una entrada escalón.

Posterior a obtener la respuesta se reajustaron los valores para obtener un mejor desempeño debido a que mostraba un sobre impulso elevado lo cual es común al realizar este método.

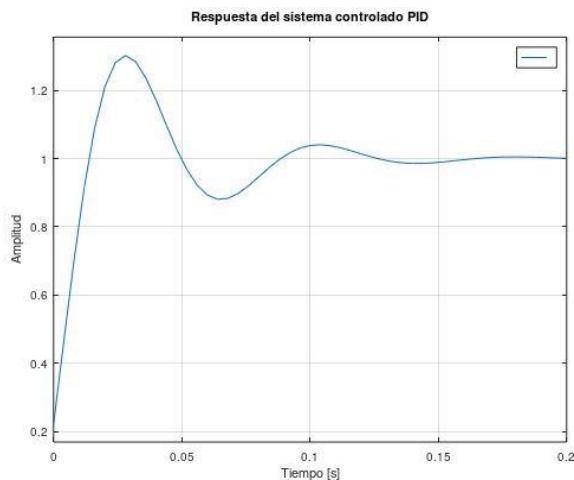


Figura 9. Respuesta del sistema en tiempo continuo en lazo cerrado.

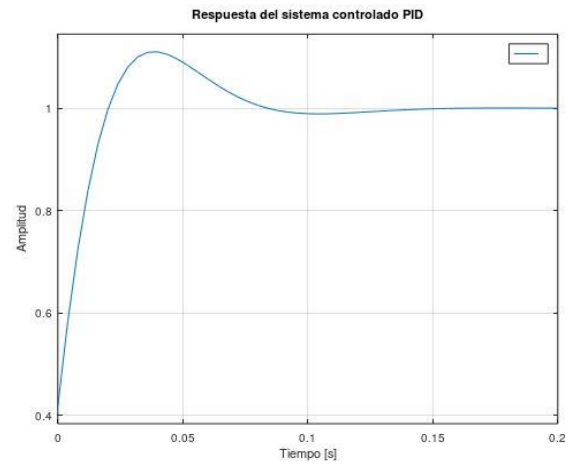


Figura 10. Respuesta ante el reajuste de los parámetros en lazo cerrado.

### E. Implementación del control digital

La ecuación en diferencias queda expresada de la siguiente forma:

$$u[n] = u[n-1] + \left( K_p + \frac{K_d}{T_c} \right) e[n] + \left( -K_p + K_i T_c - \frac{2 K_d}{T_c} \right) e[n-1] + \frac{K_d}{T_c} e[n-2]$$

Como se aprecia, para obtener una respuesta controlada del sistema, son necesarias las constantes proporcional, derivativa e integral del controlador, las cuales ya fueron obtenidas previamente en el diseño. También es tomado en cuenta el tiempo de muestreo de **20 ms** para la respuesta como constantes del proceso.

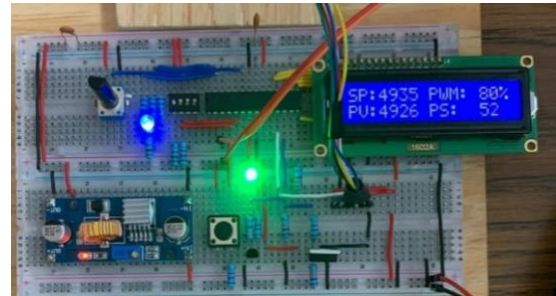


Figura 11. Sistema de control con una aproximación de los valores en la variable del proceso frente al setpoint.

Se observa que el **setpoint** se establece en 4935 rpm, el valor de la variable de proceso alcanzó de manera satisfactoria el valor deseado, y se estabilizó a ese valor.

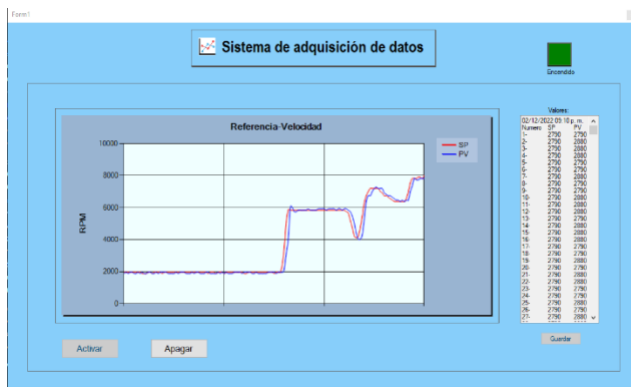


Figura 12. Sistema de adquisición que monitorea los valores experimentales del setpoint y la variable del proceso que en este caso es la velocidad del motor.

Se implementó un sistema para la adquisición de datos desarrollado en C#, en la cual se comunicó el microcontrolador por medio de comunicación serie por el puerto UART, de esta forma se monitorea la velocidad del motor de forma continua y es posible guardar los datos obtenidos

#### IV. CONCLUSIONES

En este proyecto, se utilizó el método de Ziegler-Nichols en la obtención de los parámetros de las constantes, que es un método más gráfico que analítico a pesar de eso se consiguió un resultado satisfactorio

El controlador digital procesa y envía señales de control en intervalos de tiempo específicos. Esto hace que el sistema sea eficiente, logrando un seguimiento de trayectoria con un error reducido.

Este proyecto es útil en aplicaciones donde es necesario un seguimiento de referencia de velocidad con una carga mecánica presente: ventiladores, taladros, CNC, robots, entre otros.

#### REFERENCIAS

- [1] 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. (s. f.). microchip.com. Recuperado 25 de Octubre de 2022, de [https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- [2] Sintonía de Control PID. <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/>. Recuperado el 28 de noviembre de 2022.

# Fabricación de un sistema de barrido XY para la caracterización de celdas solares por luz monocromática

L. A. Navidad González, N. Almendarez Rodríguez, A. F. González, E. Rivera Bravo,  
I. Lara Velázquez

Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Mecatrónica, Tecnológico nacional de México ITSLP [ismael.lv@slp.tecnm.mx](mailto:ismael.lv@slp.tecnm.mx)

**Resumen—** En esta comunicación presentamos la construcción de una máquina de dos grados de libertad de buena resolución para caracterizar celdas solares. El sistema permite una foto respuesta local de la celda solar lo cual permite caracterizar la distribución de defectos espaciales y parámetros eléctricos que se pueden extraer usando esta técnica, realizando un barrido con un haz de luz monocromática a través de la celda solar y determinado por una matriz espacial en donde se realiza la medición de la característica corriente voltaje en el punto central de la matriz, el sistema de barrido y adquisición es utilizando el software de Labview, los motores son controlador por un circuito de potencia a través de un microcontrolador y la interfaz gráfica

**Palabras Clave—** Máquina mecánica, extracción de parámetros, foto respuesta, característica I-V, Labview.

**Abstract—**In this communication we present the construction of a structure with two degrees of freedom with enough resolution to characterize solar cells. The system allows a local photo response of a solar cell, which enable characterizing of the spatial distribution of defects and electrical parameters that can be obtaining using this technique, scanning a beam of monochromatic light through the solar cell and determined by a spatial matrix where the measurement of the current-voltage characteristic is carried out at the center point of the matrix, the scanning and acquisition system is using the Labview software, the motors are controlled by a power circuit through the microcontroller and the graphic interface.

**Keywords—** Mechanical structure, obtaining parameter, photo response, I-V characteristic, Labview.

## Introducción

Las máquinas herramientas de control son equipos tecnológicos importantes en diferentes campos de la industria y construcción de maquinaria, Esta máquina es conocida como Control Numérico Computarizado (CNC) con diferentes aplicaciones, entre las que se puede mencionar: realizar grabados, cortes por láser y depósito de nanomateriales [1], es importante señalar que dependiendo del número de grados de libertad o cantidad de ejes, estas máquinas son capaces de generar movimientos controlados en una área específica [2]. El diseño de máquinas herramientas CNC es continuamente innovador, evolucionando el desarrollo tecnológico de estas máquinas

para ofrecer nuevas dimensiones y aplicaciones mecánicas, logrando trazar trayectorias cada vez más complejas y con desplazamientos a mayor precisión [3]. Una aplicación específica y de interés para este proyecto es utilizar el principio de las máquinas de CNC para identificar los defectos de degradación de una celda solar. Creando una máquina que sea eficiente en tiempo y calidad en la obtención de las mediciones. Una celda solar consiste de un diodo semiconductor, el cual está formado por materiales semiconductores tipo n y p, las celdas solares generalmente están representadas por un modelo equivalente [4] como se muestra en la Figura 1.

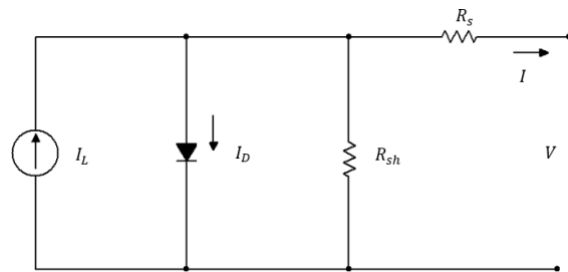


Figura 1 Modelo equivalente de la celda solar

Cuando el diodo semiconductor de la celda solar se somete a la luz, los fotones entrantes al material semiconductor tienen suficiente energía que perturban a los electrones de la banda de valencia a la banda de conducción dejando huecos en la banda de valencia. En la región de la unión se genera un campo eléctrico que barre los electrones el exceso de electrones hacia la unión lo que resulta en un exceso de carga y así se puede medir un voltaje de circuito abierto ( $V_{ca}$ ). La corriente de corto circuito ( $I_{cc}$ ) está en función de la concentración de portadores de carga excitados que está relacionada con la intensidad de luz incidente.

Los elementos resistivos como la resistencia serie  $R_s$  por contactos óhmicos o la resistencia Shunt debido a defectos de la celda  $R_{sh}$  no pueden ignorarse como la resistencia en serie que reduce el voltaje producido por la celda y a su vez reduce el rendimiento de la energía solar, la resistencia Shunt es debido a las impurezas del cristal que produce trayectorias en la corriente de Shunt que alejan la corriente de su destino previsto, por lo tanto disminuye el rendimiento de la celda [5]. El funcionamiento de una

celda solar con una buena eficiencia es

considerar una  $R_{sh}$  infinitamente grande y en consecuencia una corriente  $I_{sh}$  es depreciable.

El funcionamiento de una celda solar se describe en términos derivado de la curva IV como se muestra en la Figura 2.

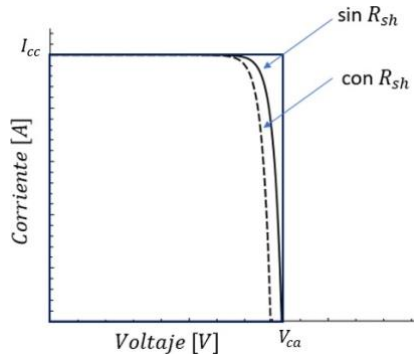


Figura 2 Característica IV de una celda solar bajo iluminación

### Metodología

En esta aplicación de máquina CNC, se diseñó el sistema en Solid Works y posteriormente se construyó el proyecto, se contemplaron aspectos como la alineación de los ejes x-y, la robustez en el bastidor es adecuada para disminuir las vibraciones, ya que la esta estructura da soporte a los sistemas de transmisión y recibe la carga de los esfuerzos generados por el funcionamiento de los motores de paso, la estructura diseñada puede visualizarse en la figura 3.

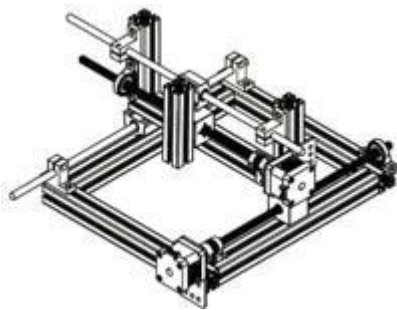


Figura 3 Diseño de la estructura cartesiana de 2 grados de libertad

Los motores x-y, son tipo Nema 17 y están colocados en la parte superior de la máquina, como puede verse en la figura 3 y se mueven de manera individual, brindando la capacidad de trasladar el láser que puede visualizarse en la figura 4, este puede moverse hasta en orden de mm en cada dirección, el acoplamiento en el eje (z) del cabezal se encuentra la fuente de luz láser por lo que también representa un esfuerzo a la estructura. Las piezas de unión son desmontables empleando tornillos milimétricos tipo Allen, bujes, seguros y acoples para los motores de paso, también se cuenta con elementos de transmisión en cada eje, los motores de paso son motores de corriente directa de 4 hilos. Con el ensamble de la

máquina las dimensiones quedaron de 260 mm de largo por 300 mm de ancho y 220 mm de alto. Estas dimensiones permiten tener el espacio para colocar una celda solar hasta de 6 pulgadas de dimensión como se muestra en la figura 4.

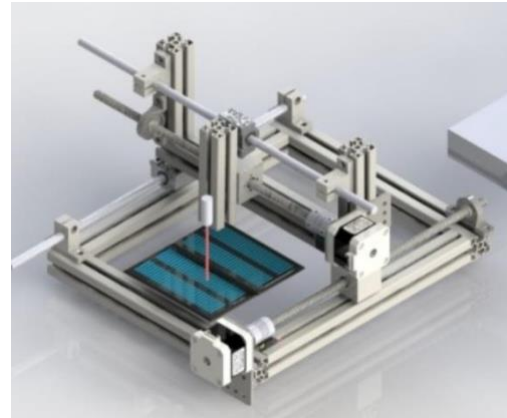


Figura 4 Celda solar de 6 pulgadas a revisar

El sistema completo que consta de la estructura cartesiana de 2 grados de libertad similar a una máquina CNC cuenta con una fuente de luz láser de 5 mW a 630 nm para generar corriente en un punto de la celda solar, cubriendo el spot del láser 2 mm de diámetro, las interfaces de comunicación, la celda solar se encuentra contactada por electrodos a través de la parte frontal y trasera de la celda por la cual se inyecta una corriente a través de un circuito corriente voltaje, la corriente se mide con una resistencia shunt, los voltajes aplicados y registrados son adquiridos por la tarjeta de adquisición USB6008 la cual es

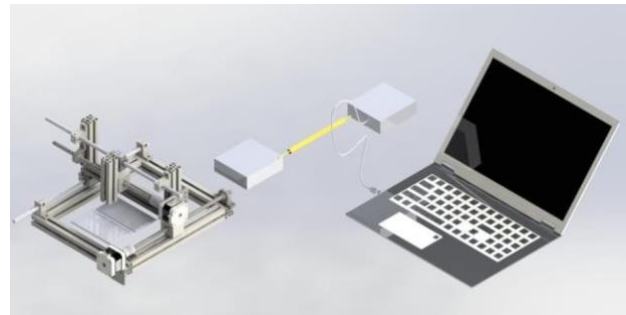
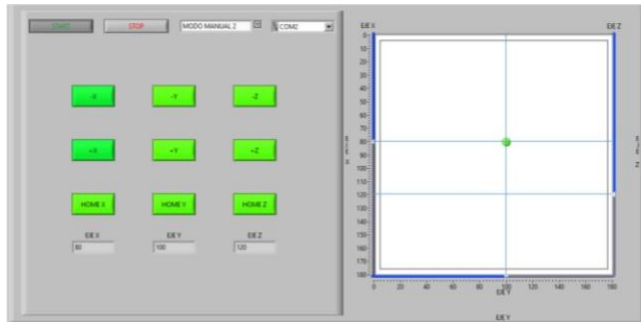


Figura 5 Esquema del Sistema del barrido xy para la caracterización de la celda solar

El control de los motores se realiza con un circuito de potencia que recibe señales del programa de Labview de avance y retroceso a través del microcontrolador. El programa para el control de los motores cuenta con una selección de desplazamiento en modo manual donde el cabezal se desplaza activando botones etiquetados como x-y y otro modo automático, En modo manual aparece una pantalla en la cual se puede seleccionar libremente los



desplazamientos x-y e incluso el cabezal del láser se puede ajustar a una altura seleccionada, en el extremo lateral del panel se puede visualizar el desplazamiento de la mancha del láser. En la Figura 6 se presenta la interfaz gráfica para ubicar la posición del láser sobre el área de

Figura 6 Funcionamiento Modo Manual

En la Figura 7 se presenta el modo automático en la que el programa divide el área de barrido en elementos de matriz según la el número de mediciones IV que se quieran realizar desplazando el láser al centro de cada elemento de la matriz. Seleccionando el tamaño de la matriz aparece del lado derecho una imagen con el numero de la matriz, en el ejemplo de la figura 7 corresponde a una matriz de 2x2, en este recuadro de laderecha se indica con un apuntador en color verde que avanza en sincronía con el avance del motor y mostrando eldesplazamiento relacionado con el arrea de barrido del láser quecorresponde al área de la celda solar.

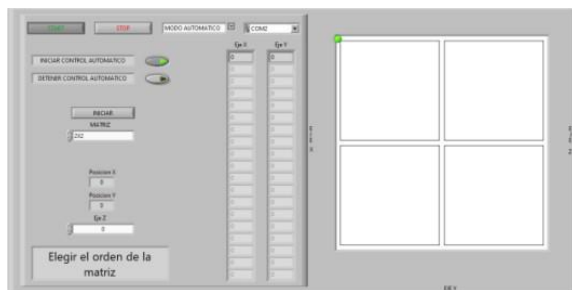


Figura 7 Proceso de inicio de programa.

Para la obtención de las curvas corriente voltaje se utilizó el programa de Labview, en donde la interfaz muestra 2 gráficos, en uno etiquetado con la curva corriente voltaje (I-V), y el otro voltaje potencia (V-P), como puede visualizarse en la figura 8 en el primero se mide el voltaje respecto a la corriente, registrándose todos los datos de la medición en un archivo de texto según los parámetros definidos, como límites inicial y final, así como el incremento entre cada medición, con una protección en corriente para no dañar las celdas. En la segunda gráfica se presenta la curva voltaje potencia (V-P) en relación con las mediciones realizadas en la curva corriente voltaje (I-V), en el lado izquierdo del indicador gráfico de la interfaz se encuentran los indicadores numéricos que, de acuerdo con la gráfica presentan los puntos característicos de la curva como la corriente de cortocircuito, corriente máxima, voltaje de circuitoabierto y

la celda.

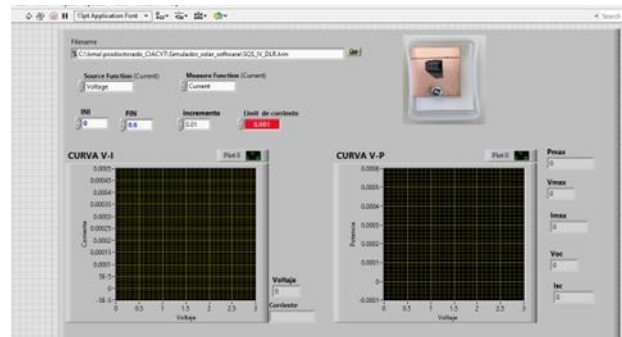


Figura 8 Instrumentación para la adquisición de las curvas IV VP en Labview

el voltaje máximo de la celda. El programa de Labview controla a través de la tarjeta de adquisición DAQ 6008 un circuito convertido voltaje corriente que inyecta corriente a la celda y a través de una resistencia shunt se obtiene el voltaje que se convierte en corriente y se registra en el programa de Labview[6]

### CONCLUSIONES

Se fabricó un sistema de barrido en los ejes XY para identificar y caracterizar los defectos presentes en una celda solar, en función de una posición espacial con un método no invasivo y permitiendo medir en cada punto de la superficie de la celda solar.

### REFERENCIAS

- [1] E. Reynoso, «Automatización en la deposición de películas delgadas de nanomaterials para la posible utilización en celdas solares,» de *Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática 2016*, San Juan del Río Queretaro, 2016.
- [2] R. N. F. Ortega, «DISEÑO MECÁNICO DE UNA MÁQUINA DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA LA FABRICACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS,» *pISTAS EDUCATIVAS*, vol. 40, n° 130, pp. 1604-1669, 2018.
- [3] K. C. Xihui Yang, «Investigation on the Industrial Design Approach for CNC Machine Tools and Its Implementation and Application Perspectives,» <https://www.sciencedirect.com/journal/procedia-manufacturing>, pp. 1459-1462, 2017.
- [4] E. Q. B. Macabebe, «Parameter extraction from I-V characteristics of PV devices,» *SOLAR ENERGY*, vol. 85, n° 1, pp. 12-18, 2011.
- [5] S. Dueñas, E. Pérez, H. Castán, H. García y L. Bailón, «The role of defects in solar cells: Control and detection defects in solar cells,» de *Spanish Conference on Electron Devices*, Valladolid, 2013.
- [6] I. Lara, «GRAFICADOR DE CURVAS CORRIENTE VOLTAJE PARA DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS EN LABVIEW,» *Pistas educativas*, vol. 42, n° 37, pp. 1033-1044, 2020.

# Automatización escalable en sistemas de espectroscopia, programación Orientada a Objetos en LabVIEW

D.U. Herrera Serna, L. F. Lastras Matrínez, C. A.Bravo Velazquez,  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias-IICO, San Luis Potosí, México

**Abstract**—Se implementó un programa en LabVIEW con el paradigma de programación orientada a objetos (OOP) con el objetivo de que la integración de nuevos instrumentos sea sencillo y escalable con el tiempo, además de permitir la fácil incorporación de nuevas rutinas e instrumentos nuevos.

**Keywords**—*Programación orientada a objetos, HDF5*

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Fotoluminiscencia

La estructura del programa esta diseñada para poder incorporarse en diversos sistema y pensada específicamente en sistemas de espectroscopia el proyecto de LabVIEW fue creado de una manera escalable para que cualquier usuario pueda agregar sus propios instrumentos y crear sus propias rutinas. En nuestro caso fue empleado en laboratorio de fotoluminiscencia del IICO a cargo de Dr. Luis Felipe Lastras Martínez específicamente se trabaja principalmente con heteroestructuras semiconductoras denominadas pozos cuánticos acoplados.

La fotoluminiscencia (PL, por sus siglas en inglés) es un fenómeno óptico que los semiconductores emiten al absorber la luz incidente cuya energía es mayor que la banda prohibida de energía del semiconductor. En el mecanismo de PL, los electrones excitados generados por excitación óptica volverán al estado fundamental, acompañados de la emisión de fotones. [1].

### B. Acerca de la OOP en LabVIEW

LabVIEW nació como programación gráfica de flujo de datos, es decir, ejecuta una secuencia de comandos que tienen que ser llevados a cabo. En el 2006 en la versión 8.2 de LabVIEW se implementó nativamente la OOP [2,3], a pesar de tener varias diferencias con otros programas que implementan este paradigma de la programación no perdemos las ventajas que este nos ofrece:

- Abstracción del programa
- Mejora la planificación
- Depuración sencilla
- Mantenimiento sencillo
- Herencia
- Entre Otras.

## II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### A. Sistema de Fotoluminisencia

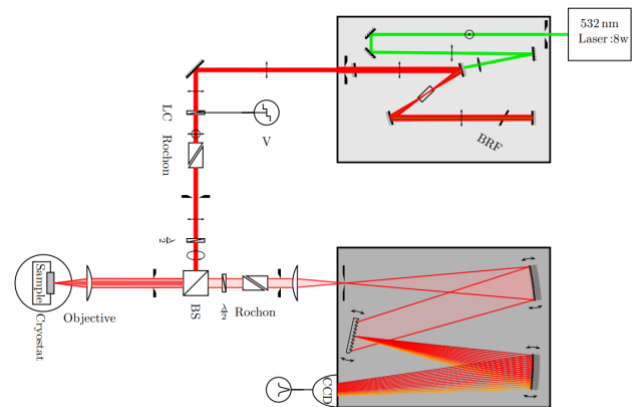


Figura 1. : Sistema de fotoluminiscencia, arreglo experimental usado en el Laboratorio de Fotoluminiscencia del IICO a cargo del Dr. Luis Felipe Lastras Martínez.

En la *Figura 1* se aprecia una de las configuraciones usadas en el sistema de fotoluminiscencia, ya que este suele configurarse dependiendo de las necesidades del experimento.

El sistema suele tener distintos “instrumentos” los cuales van desde los que llamaremos “principales”, los CCDs y monocromadores, y “secundarios” entre los que están, láseres, potenciómetros, sensores/controles de temperaturas criogénicas, motores paso a paso, polarizadores, cristales líquidos, etc. Mas adelante se explicará porque la división en estas dos clases a grandes rasgos los instrumentos secundarios nos ayudarán a realizar diversas configuraciones en el sistema. Independientemente de cuál sea el “instrumento” todos pueden ser controlados y ya sea que se tengan sensores de las mismas características o que se implementen nuevos instrumentos la incorporación en un solo programa suele ser laborioso dado que puede que el programa crezca demasiado en complejidad y su modificación incorpore diversos errores. Como se mencionó anteriormente la OOP permite resolver estos problemas.

### III. IMPLMENTACIÓN DEL PROGRAMA

#### A. Estructura del programa(máquina de estdos)

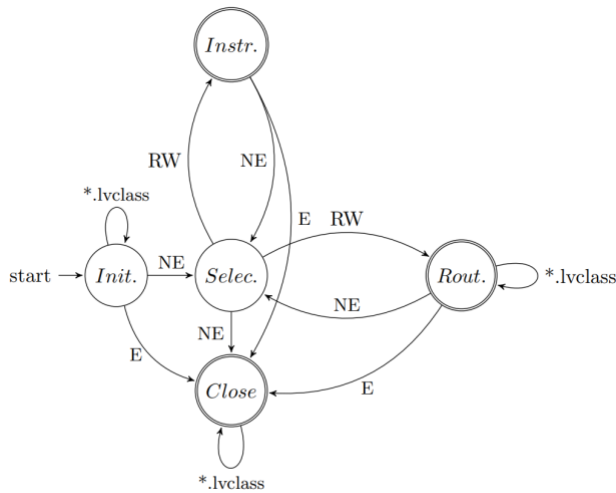


Figura 2. Máquina de estados implementada en el programa principal “main.vi”. Los estados correspondiente son Init.(Inicialización de todos los instrumentos), Selec.(Espera Selección por parte del usuario), Instr.(Instrumento), Rout.(Rutina), Close(Termino del programa, RW(Lectura Escritura), E(error) y NE(No error).

La abstracción proporcionada por la OOP nos permite simplificar la máquina de estados, ver *Figura 2*, dado que todo pertenece a la clase instrumento, ver *Figura 4*. La máquina de estados de la *Figura 2*, nos muestra que en el caso de la inicialización, se entrará en bucle llamando a todos los instrumentos con la extensión “\*.lvclass” para posteriormente y automáticamente usar el método que esta sobrescrito “*override*” dependiendo de cada instrumento, esto será similar en el caso al terminar el experimento y cerrar cada unos de los instrumentos. En el caso de las rutinas (Rout) y los Instrumentos (Inst) es un poco más complicado esto debido a que las variables de cada clase son privadas, es decir, solo podremos acceder a ellas con métodos propios de la clase específica, estos estados requieren de lectura/escritura y por tanto no en todas las ocasiones podremos usar la clase “*Instrument.lvclass*”.

En la *Figura 3*, se muestra la rutina de inicialización para todos los instrumentos. En la primer parte del código el usuario selecciona los instrumentos que va a usar, en la segunda parte se buscan todas las clases creadas por el usuario (extensión, \*.lvclass) y finalmente se utiliza el método padre de inicialización para todos los instrumentos usando las extensiones obtenidas en el punto anterior.

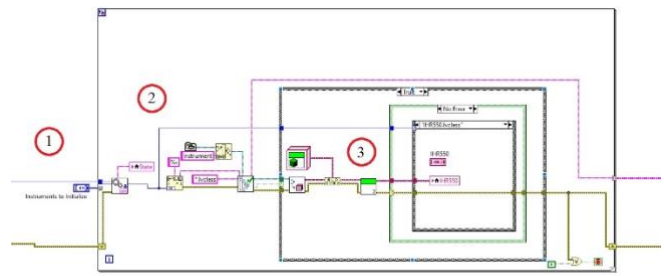


Figura 3. Inicialización de Instrumentos.

#### B. La clase Instrumento.lvclass (parent class)

La clase padre o la clase mas abstracta se llama “*instrumento.lvclass*” esta tiene los métodos de *setting.vi*, *acquisition.vi*, *save.vi*, *wait.vi* y *close.vi*. En la *Figura 4*, podemos ver como se organizó la jerarquía de herencia, para las primeras clases “hijos” están pensadas para simulación de experimentos pueden ser usadas para correr el programa en caso de no tener aun algún instrumento, para “*debuggear*” código manteniendo seguros los instrumentos, para poder trabajar en la estructura general del programa sin necesidad de tener físicamente los instrumentos y almacenar métodos y variables similares de la categoría de la clase. Las clases hijos de los que denominamos “*Simulation*” en la *Figura 4* son los instrumentos que se van a controlar físicamente.

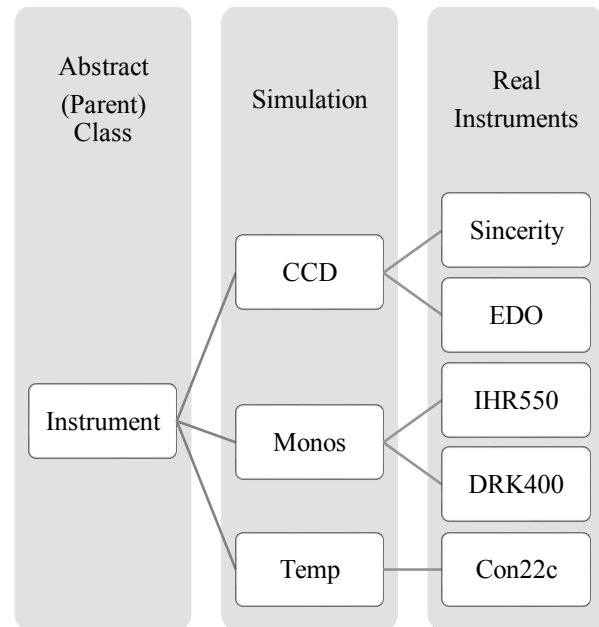


Figura 4. Jerarquía de herencia de algunas de las clases implementadas en el programa.

#### C. Acerca del Guardado.

Todos los métodos de la clase “*Instrument.lvclass*” son vacíos exceptuando al método *save.vi* el cual incorpora funciones de guardado para archivos con extensión archivos HDF5, los archivos HDF5 permiten guardar todos los instrumentos “*primarios*” los cuales se guardarán en un “*dataset*” (objeto de la clase HDF5) el cual corresponderá a el

espectro de fotoluminiscencia del experimento. En el caso de los instrumentos “secundarios”, su adquisición, así como sus configuraciones son guardadas como meta-data (atributos de la medición, igualmente un objeto de la clase HDF5). Esto permite que el experimento sea auto explicativo además de proporcionar homogeneidad en todos los experimentos que se vayan a realizar.

#### IV. CONCLUSIONES

Se espera que la sencillez de la máquina de estados sea una ventaja para un programa robusto, de fácil comprensión y que la complejidad recaiga solo en aprender la OOP en LabVIEW. Al realizar el proyecto la “capa de simulación” es de una gran ayuda a la hora de encontrar errores, además de poder programar sin la necesidad de los instrumentos simplemente incorporando estas clases al inicio del programa.

Se logró que la incorporación de rutinas sea de manera natural solo mediante sencillos ciclos y no se afecta la estructura general del programa.

Por último, aun falta por mejorar algunos detalles de la interfaz que se puedan realizar de manera automática si necesidad de intervención del usuario, el principal problema es que algunos controles en LabVIEW no pueden ser modificados si este se encuentra en modo “RUN” y no en “Edit Mode” lo que dificulta su actualización en caso de que el usuario los modifique. Por ello se opta por actualizar los controles antes de ejecutar el programa principal, lo cual puede llegar a ser algo tedioso principalmente si se está cambiando de manera drástica la estructura general del programa.

#### REFERENCIAS

- [1] F. Wang, X.-K. Liu, and F. Gao, “Fundamentals of solar cells and light-emitting diodes,” in *Advanced Nanomaterials for Solar Cells and Light Emitting Diodes*. Elsevier, 2019, pp. 1–35. I.J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] Instruments, N. (2022). Preguntas Frecuentes sobre Programación Orientada a Objetos de LabVIEW. <https://www.ni.com/es-mx/support/documentation/supplemental/06/labview-object-oriented-programming-faq.html> K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- [3] Instruments, N. (2022). Los Beneficios de la programación gráfica en NI LabVIEW. <https://www.ni.com/es-mx/shop/labview/benefits-of-programming-graphically-in-ni-labview.html> Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].

# Torno CNC para Madera Casero con Implementación de Arduino

Rocha Villanueva Ulises Herminio  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Automotriz  
ulisesrochvi@gmail.com

**Resumen—** Este proyecto consiste en el diseño, construcción y programación de un torno CNC para madera de dos ejes. El prototipo del equipo se realiza con el fin de cubrir una necesidad actual en el mercado, ya que no se ofrecen opciones asequibles de un torno de un tamaño inferior al convencional el cual puede ser automatizado.

Además de lo anterior, se busca crear un equipo de bajo costo y fácil montaje que pueda ser programado incluso por alguien sin un amplio conocimiento en el área. De esta forma, se puede obtener un equipo sencillo y práctico que permita a la persona que lo emplee generar ingresos, como puede ser el caso de piezas de ajedrez, vasos, platos entre otros productos que pueden ser maquinados en madera.

**Abstract—** This project consists of the design, construction and programming of a two-axis CNC lathe for wood. The prototype of the equipment is carried out in order to cover a current need in the market, since affordable options are not offered for a lathe of a smaller size than the conventional one, which can be automated.

In addition to this, it seeks to create a low-cost and easy-to-assemble equipment that can be programmed by anyone without extensive knowledge in the area. In this way, a simple and practical equipment can be obtained that allows the person who uses it to generate income, such as chess pieces, glasses, plates, among other products that can be machined out of wood.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente hay diferentes tipos de tornos, todos con fines distintos y para diversos materiales tal es el ejemplo de metal, madera, plástico, minerales, entre otros.

Aunque sus diseños y construcción son diferentes en virtud del material que se desea maquinar, todos trabajan a grandes rasgos del mismo modo. Cuentan con un eje propulsado el cual en un extremo suele tener un soporte especial dependiendo del perfil a trabajar de este modo la pieza pueda rotar al mismo tiempo que el eje, este parte se suele conocer como *husillo*.

El husillo dependiendo el equipo que se esté usando tiene la capacidad de variar las revoluciones por minuto en virtud de las características individuales de cada material. Un ejemplo sería las rpm a las que se torne un acero de alto carbono en el cuales necesita de bajas revoluciones y un alto torque; en comparación del torneado de una pieza de nylamid o madera donde nos interesa tener revoluciones más altas las cuales nos ayuden a cortar mejor el material y de este modo conservar un mejor acabado. Es de vital importancia que el husillo este

configurado a las revoluciones correctas de acuerdo al material, ya que si estas son muy diferentes podemos llegar a sobrecalentarlo, forzar nuestro equipo, fisurar las piezas o incluso destruir las en casos extremos.

Otro elemento indispensable de un torno y que varía dependiendo de para que material sea, es la herramienta de corte, esta puede ir montada en un carro porta herramientas tal es el caso de un torno convencional para metal, o ser manipulada de manera manual por el operario como se hace en un torno para madera, donde el tornero mediante sus manos y un punto de apoyo y gubias de perfiles distintos es que logra darle forma a las diferentes piezas.

## TORNO CNC

### A. ¿Qué es?

Un torno a grandes rasgos es una herramienta que nos ayuda a desbastar o remover material de tal forma que la pieza queda con una forma cilíndrica, sin embargo es la unión del tipo de herramienta de corte junto con la habilidad del operador la que nos ayuda a obtener formas más complejas que van más allá de un simple cilindro, se pueden hacer rebajes, conos, roscas, perforaciones, fresados, entre muchas otras.

Actualmente gracias a los avances tecnológicos se ha podido automatizar el funcionamiento de los tornos y otros equipos como fresadoras entre otras que sirven para el maquinado de piezas esto con el fin de garantizar la calidad, propiedades y características entre pieza y pieza torneada o fresada, esto se logra gracias a los sistemas computacionales que son adaptados a los equipos y que gracias a la exactitud y repetitividad con la que trabajan es que se logra mayores estándares de calidad que con el mismo equipo pero controlado por un operador, debido a que ya sea intencionalmente o no, el factor humano siempre juega un papel importante en cuanto a la fabricación de piezas que requieren de una alta precisión, y actualmente conforme a los procesos de industrialización es que se deben de cuidar las tolerancias para evitar problemas posteriormente ya sea en el armado o funcionamiento de una pieza.

### B. ¿Cómo funcionan?

Si tomamos como referencia un torno convencional para metal estos funcionan mediante dos ejes por los cuales va a correr el carro porta herramienta. Uno de los ejes es el “X” el cual es paralelo a la dirección del husillo. El otro eje es el “Y”

este es perpendicular al eje x.

Actualmente ya se comercializan equipos con muchos más ejes de 3, 4 y hasta 5 los cuales ya son usados para fines específicos o piezas con mayor complejidad que requieren otro método de maquinado.

Cuándo unimos los dos ejes el "x" y el "y" logramos generar un plano cartesiano el cuál por medio de coordenadas dadas por las respectiva distancia que hay en cada eje (x,y) se logra obtener un punto, el cual dependiendo de nuestra programación es por donde va a pasar nuestra herramienta de corte y de este modo darle forma a la pieza que estamos trabajando.

Para evitar el proceso de calcular individualmente cada punto y trayectoria del perfil que queremos dar a nuestra pieza es que ya se cuenta con softwares de diseño que hacen el trabajo, estos funcionan mediante una interfaz gráfica en la cual uno puede dibujar o diseñar las especificaciones de la pieza y este programa se va a encargar de hacer los cálculos necesarios para tener los puntos por los cuales el material va a ser cortado.

Sin embargo no sería práctico tener una enorme lista de puntos los cuales se tuvieran que ingresar poco a poco a un programa para así posicionar el carro porta herramientas. Es por eso que estos softwares nos entregan el archivo en un formato denominado "código G" en este código ya se encuentran todas las coordenadas y trayectorias que va a seguir nuestra herramienta de corte.

Este código es el lenguaje que entienden los sistemas de Control Numérico Computarizado o por sus siglas "CNC" estos en combinación de motores, cremalleras, bandas o tornillos sin fin es que se logra controlar de manera automatizada la posición del elemento con respecto al plano y así manipular sus trayectorias que vaya siguiendo e ir dando el perfil a nuestro material.

Estos sistemas se encargan de interpretar los valores provenientes de código G. Además de considerar las características físicas del equipo para que dichos valores puedan ser aplicados de manera correcta, hay factores que se deben de tomar en cuanto como cuantos giros del motor me generan un cm de avance, o qué velocidad de avance puedo tener con un tornillo sin fin en comparación de una cremallera dentada. Todo este tipo de datos son configuraciones que se colocan en el programa para al momento de correrlo, el diseño que se generó coincida con el resultado. Estos valores ya vienen predeterminados para ser modificados en función del modelo y tipo de equipo, esto crea una interfaz más amigable con el usuario.

### C. Sistemas de propulsión

Una unidad CNC no sirve de nada que cuenta con una gran programación y un código G para interpretar, si esta no es capaz de plasmar estos datos de manera física.

La clave en el correcto aprovechamiento de estos sistemas es que el hardware que va a ser operado tenga la mayor capacidad de precisión que se pueda controlar, es por eso que se opta por el uso de los "motores a pasos". Estos motores

tienen la cualidad de poder ser controlados en función de la cantidad de pasos que da, de tal modo que se pueden escoger valores muy específicos dados en ángulos, distancias, revoluciones, posición, etc. Esta capacidad los vuelve ideales en la implementación de los equipos CNC ya que su capacidad de ser controlados con gran exactitud, combinado con su alto torque para soportar los esfuerzos y tensiones al estar maquinando es que se vuelven la opción más popular y prácticas de estos equipos.

## II. CONSTRUCCIÓN

Para la elaboración del prototipo se optó por el uso de madera como principal estructura, esto debido a su practicidad, bajo costo, y fácil manejo. En adición a esto la meta es crear un equipo que cualquiera pueda llegar a armar con ayuda de los planos, un par de herramientas y algo de tiempo para de este modo tener su propia unidad CNC.

En la construcción de los dos ejes "X" y "Y" se decidió usar como rieles dos tubos de acero galvanizado de media pulgada, los cuales son comúnmente usados en sistemas de agua y gas. Se escogió esta opción debido a que estos tubos cuentan con una resistencia considerable, no son muy pesados debido a que no son sólidos, y además cuentan con la gran ventaja de que vienen bastante derechos lo cual los vuelve una buena opción para montar dos de forma paralela y tener los rieles. Estos mismos fueron fijados a la estructura principal hecha de MDF de 12mm y ptr de una 1 ¼ pulgadas de ancho, por medio de tacones de madera de una 1 ½ de grosor en adición a una broca tipo paleta de 7/8 de pulgada que nos ayudaría a hacer la perforación del diámetro mayor del tubo galvanizado. Este diseño nos proporciona firmeza en la posición de los rieles, además de la capacidad de poder ajustarlos para garantizar la correcta alineación.

Sobre estos rieles se monta el carro porta herramientas el cual cuenta con una estructura que le permite deslizarse a través de los rieles.

Esta estructura se fabricó con mdf de 18mm de grosor y para que los tubos pudieran entrar y hacer de guía al carrito se hicieron perforaciones de 5/8 de pulgada y posteriormente se fueron agrandando con ayuda de un mini taladro con un accesorio de desbaste, esto con el fin de que la perforación quedara lo más justa posible a fin de evitar juego entre el agujero y el tubo, esto debido a que el diseño carece de baleros lineales los cuales además de ser algo costosos, debido a la medida del tubo tendrían que ser mandados a hacer o pedirse con el distribuidor. La implementación de estos baleros a futuro serán parte de las mejoras del prototipo ya que estos nos pueden garantizar menos fricción, más firmeza, y menos desgaste en comparación de los bujes de madera que se perforaron.

Para generar el movimiento lineal del carrito usamos espárragos de acero galvanizado de ½ pulgada de rosca estándar con sus respectivas tuercas. Dos de estas fueron colocadas en la estructura del carrito.

Para garantizar el movimiento libre del tornillo sin fin se usaron dos baleros por eje de diámetro interior de ½ y exterior de 35mm, estos nos ayuda a mantener fija la posición de tornillo sin limitar su movimiento giratorio propio del

funcionamiento necesario para generar el desplazamiento lineal.

Este diseño se realizó en ambos ejes “x” y “y”, los cuales al momento de hacer las primeras pruebas nos encontramos con la grata sorpresa que el sistema funciona bastante bien, no se cuenta con un gran juego en los rieles casi imperceptible, los tornillos sin fin tampoco tienen algún desajuste o movimiento que puedan desplazar el carro y alterar la calidad del maquinado; el carrito se deslizaba con la suficiente resistencia propia del ajuste dado, y la suficiente para que no se necesite un gran esfuerzo para moverlos con el tornillo sin fin.

#### *D. Sistema de motriz*

Para generar el movimiento de los ejes se optó por el uso de los motores a paso nema 17, estos cuentan con una fuerza aproximada de 57gramos por centímetro cuadrado, esto nos ayudara a tener la suficiente fuerza para mover el carro portaherramientas y el torque para poder desbastar la pieza que estemos torneando.

Se colocara un motor por cada eje. Además se incluirán diferentes sensores o pulsadores para limitar el movimiento máximo de los motores y por el área de trabajo disponible a fin de no dañar la estructura del torno.

Estos dos motores serán conectados a un “armour shield 1293d” el cual es un circuito que se monta sobre el arduino y tiene la cualidad de poder controlar desde 4 motores de corriente continua o dos motores a pasos que son los que usamos.

Actualmente ya se cuenta con un código de arduino y un código para el ejecutador que nos permite cargar los archivos de código G e interpretarlos a las coordenadas de nuestro equipo, sin embargo faltan hacer las pruebas con los motores que se van a usar y configurar las características físicas del equipo como cuantos paso me están generando un mm de avance entre otras configuraciones que están en proceso.

La meta de este proyecto es dar la oportunidad a personas fanáticas de la electrónica y la computación entre otras, la opción de que puedan llegar a tener un equipo sencillo, pero practico con el cual puedan ir comenzando en este mundo que es el torneado y maquinado de objetos, de tal forma que un futuro pueda llegar a optar por otro equipo de mayor calidad y mejor construcción pero ya teniendo las bases practicas del funcionamiento y diseño.

Para lograr este fin es de vital importancia que se pueda desarrollar un programa con una interfaz de usuario que sea muy intuitiva de tal modo que el operario pueda llegar a realizar sus proyectos o trabajos sin mayor dificultad.

Nosotros sabemos que existe un sinfin de mejoras, sin embargo estamos orgullosos de poder construir un equipo de características bastante respetables a un muy bajo costo y con materiales que probablemente a nadie se le haya ocurrido antes.

# Fuente de voltaje y corriente programable

Adiel Federico Madrigal Loredo, Axel Antonio Pardo Villalobos, Gerardo Zúñiga Torres

**Resumen**—Un SMU (Source Measure Unit) ofrece al usuario una fuente capaz de generar voltaje o corriente, al mismo tiempo que se tiene la capacidad de hacer mediciones sin el riesgo de tener cambios repentinos de un modo a otro entregando valores constantes con una funcionalidad mejor a la de una fuente de voltaje o una fuente de corriente comercial de muy buena calidad. [1]

## I. INTRODUCCIÓN

En la electrónica se han desarrollado aparatos con el fin de propiciar el avance de esta cumpliendo más eficientemente con los requisitos que esta disciplina requiere para en el desarrollo tecnológico, siendo este el objetivo principal del proyecto además de entregar una opción más económica a los sistemas comerciales pudiendo competir con estos.

## II. OBJETIVO PRINCIPAL Y/O PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Se pretende programar, diseñar y ensamblar un sistema capaz de ser controlado a través de una computadora el cual permita una salida constante de corriente o voltaje a través de sus terminales de salida, además de poder incrementar la cantidad de canales del artefacto una vez terminado su diseño final.

## III. MARCO TEÓRICO

Los generadores hoy día son elementos más que comunes para el estilo de vida mantenido por casi toda la población mundial y ya son necesarios tanto fuentes de voltaje como de corriente para dar vida a baterías, controles, bocinas, lámparas, teléfonos celulares, máquinas industriales, entre muchos otros artefactos que requieren de una fuente de alimentación haciendo evidente la dependencia que se ha desarrollado por este tipo de elementos, máquinas o instalaciones.

Una fuente de voltaje trata de ofrecer voltaje constante sin contemplar la corriente, de igual manera que la fuente de corriente intenta mantener una corriente, presentando un detalle, que una depende de la otra, pudiendo ser observado en la ley de Ohm ( $V = I \cdot R$ ), teniendo conocimiento acerca de esta situación, para simplificar el empleo y manejo de ambas modalidades, el SMU propone una calibración de fuente y medidor de ambos modos limitando la cantidad de voltaje que se puede suministrar en el modo de corriente logrando evitar cambios abruptos de valores elevados en el voltaje y aun así permitiendo extraer cantidades exactas de corriente justo de la misma manera que ocurre en su otra

función, entregando cantidades deseadas por el usuario con un barrido de valores desde pequeños (mili Volts) hasta volts enteros.

Un sistema comercial puede ser costoso pero las aplicaciones pueden ser necesarias y requeridas para alguna tarea en especial, pudiendo ser desde aplicaciones de medición de altas resoluciones hasta caracterización de semiconductores o materiales que involucren que los suministros de voltaje o corriente otorguen valores positivos y negativos, entre muchas otras aplicaciones que no necesariamente requieran de ambas modalidades, siendo que también puede cumplir como una fuente de voltaje o corriente más eficientes siendo demasiado útil para laboratorios de desarrollo e investigación, de igual manera que pueden ser aprovechados en muchos otros ámbitos como el académico.

Se propone un sistema controlado digitalmente por medio de un microcontrolador, el cual crea un loop de control retroalimentando la entrada y salida, esto con el fin de suministrar un voltaje o corriente deseado, pero al mismo tiempo medirlo para así decidir cuánto administrar, pasando a través de distintas arquitecturas para el manejo y control de la señal hasta llegar al final del circuito para hacer la retroalimentación. Se usó al SMU como sistema de referencia para la elaboración del proyecto.

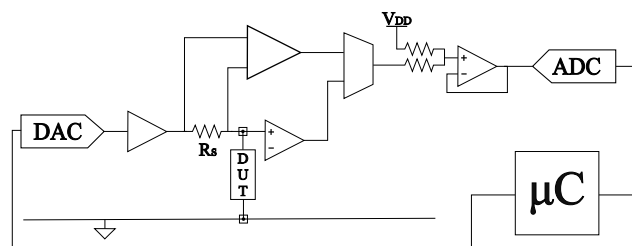


Figura 1. Diagrama de un SMU.

## IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La implementación del SMU es compleja en el apartado de comunicación, control y adquisición de datos debido a la necesidad de alta precisión y rapidez en la medición de corriente y voltaje en dispositivos bajo prueba. La implementación del SMU requiere de un diseño cuidadoso y una alta calidad de componentes para garantizar la precisión y estabilidad en las mediciones. Los componentes utilizados para hacer pruebas y que completan el circuito de retroalimentación es un Arduino DUE que está basado en un

potente microcontrolador SAM3X8E ARM Cortex-M3 el cual se utiliza para el apartado de programación que contine el sistema de control PID y contine el protocolo de comunicación con los otros componentes, un conversor de digital a analógico siendo un modelo de 16-bit, el DAC8831 que envía por el protocolo SPI paquetes de datos.

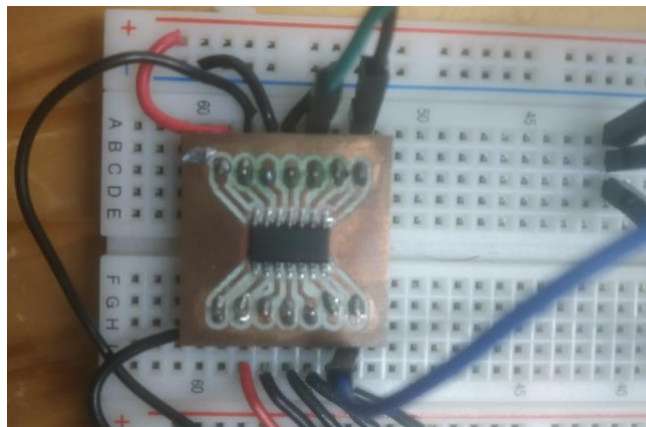


Figura 2. DAC8831 con expansión de terminales para pruebas en protoboard.

Para la retroalimentación, la conversión de analógico a digital se utilizó un modelo de ADC de 12-bits el cual es el ADCS7476AIMF que cierra el lazo de retroalimentación de la fuente.

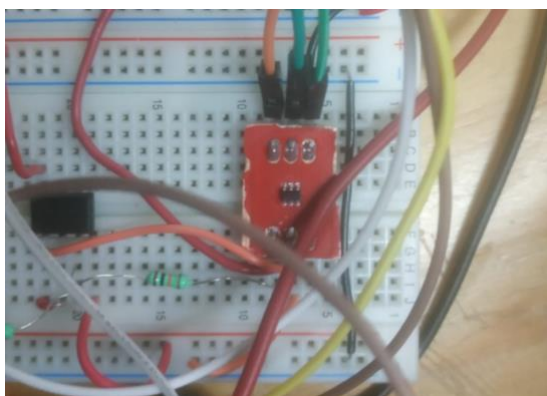


Figura 3. ADCS7476 con expansión de terminales para pruebas en protoboard.

Los demás componentes que están involucrados en el sistema son amplificadores operacionales (OpAmps) en varias de sus configuraciones, habiendo 3 en específico más destacables e importantes, la primera siendo la que permite la función de hacer las señales del microcontrolador bipolar la segunda hace unipolares las mismas señales y el último permite la medición de la corriente, siendo un amplificador de instrumentación [2], habiendo usado en su arquitectura un OpAmp modelo TL074 siendo la única excepción puesto que en todas las demás configuraciones se utilizó el modelo TL072.

La fase de experimentación se basó en la caracterización de cada uno de los componentes, el primer paso fue el DAC utilizando el control para comprobar la velocidad y la estabilidad de transferencia de datos con el control PID, las pruebas se hicieron solo con la salida unipolar y luego con la parte bipolar para así registrarla en el paso de la resistencia de shunt. Para la parte de retroalimentación se tenía que caracterizar el ADC, en este caso la señal que era bipolar se buscó una configuración de OpAmp la cual la convierta en unipolar para que esta sea leída por el microcontrolador y cerrara el lazo de retroalimentación. Al completar el apartado de voltaje, comenzó el de corriente, en este caso primero se tenía que realizar el amplificador de instrumentación y caracterizarlo con diferentes ganancias, la configuración de esta se estableció en 1 k $\Omega$  fijo y solo la resistencia de ganancia es variable, pudiendo hacer una amplificación entre x4 y x200.

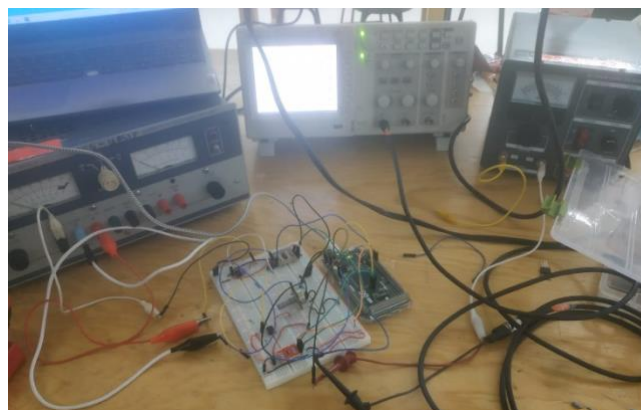


Figura 4. Circuito montado en protoboard para pruebas de voltaje.

## V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez se realizó el proceso experimental individual de cada sección y cada componente descrito en la sección anterior, se procedió a montar el sistema completo para evaluar su funcionamiento.

Se le pidió al sistema que escribiera una señal de voltaje desde 2.7V a -2.7V:

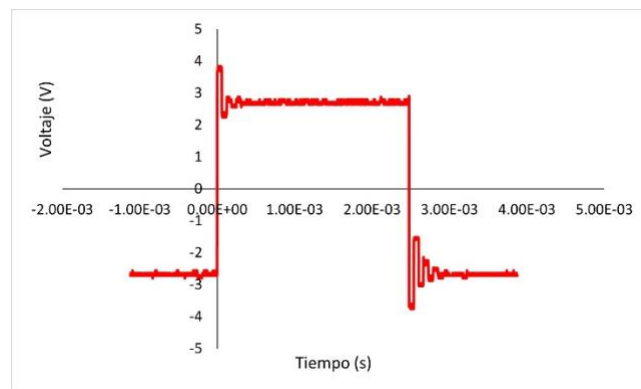


Figura 5. Gráfico del sistema SMU en funcionamiento, escribiendo una señal que vaya desde 2.7V a -2.7V.

Tomando la figura 5 y acercándose a la subida de voltaje, se puede caracterizar el tiempo de respuesta del control en el sistema:

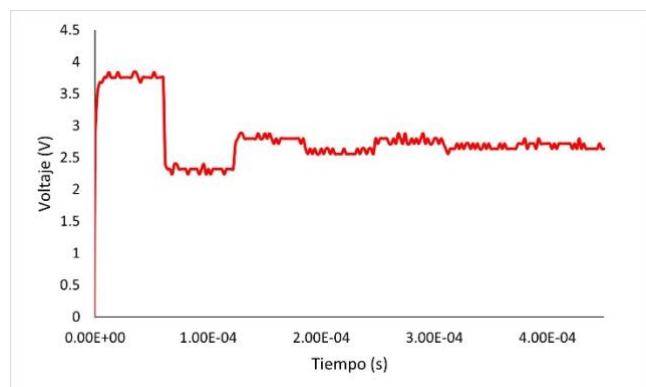


Figura 6. Gráfico del tiempo de subida de la señal producida por el SMU hasta que se estabiliza.

Gracias a la figura 6, se puede visualizar que al sistema le toma 5 escrituras llegar al valor de voltaje deseado, además que se estabiliza en aproximadamente 300 $\mu$ s, lo cual, para sistemas de esta naturaleza puede ser lento, y en este caso concreto, puede ser debido a varios factores, el primero, las variables de control pudieron haberse elegido mejor, o la más probable, la velocidad del microcontrolador resulto ser muy lenta, por lo que no pudo responder en tiempos más cortos.

Se realizaron un par de pruebas de caracterización, considerando cambios bruscos de impedancia e impedancias complejas como lo podrían ser capacitivas o inductivas. En el primer caso se realizó una prueba con ayuda de un banco de resistencias, donde se realizaba una caída y subida repentina en la impedancia del sistema, pasando de 30 $\Omega$  a 4M $\Omega$ , esto con el fin de ver lo rápido que puede volver a mantener el control el sistema después de un cambio tan crítico. El resultado se observa a continuación:

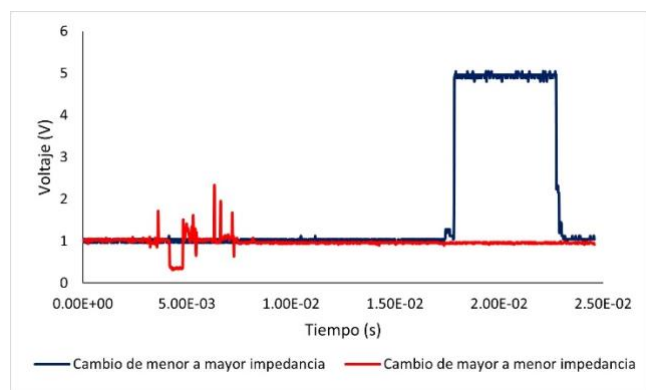


Figura 7. Gráfico de prueba de cambio brusco de impedancias en el sistema.

En la figura 7, se puede ver cómo afectan esos cambios tan repentinos de impedancia al sistema, provocando que existan una serie de protuberancias. Además, se puede observar que el tiempo de respuesta después de esta situación crítica es de aproximadamente 5ms, con lo que podría considerarse que,

para ciertas aplicaciones, el sistema tiene un tiempo de respuesta lento.

La siguiente prueba de caracterización consistió en probar otra clase de impedancia que no fuese resistiva, por lo que se optó por hacer una prueba de impedancia capacitiva. Esta consistió en colocar un capacitor en paralelo (450pF, en este caso) con la resistencia DUT y observar el comportamiento del control con ese cambio. Una vez se hizo la prueba para el caso donde no se contará con la impedancia capacitiva en contraposición con el que sí, se obtuvo lo siguiente:

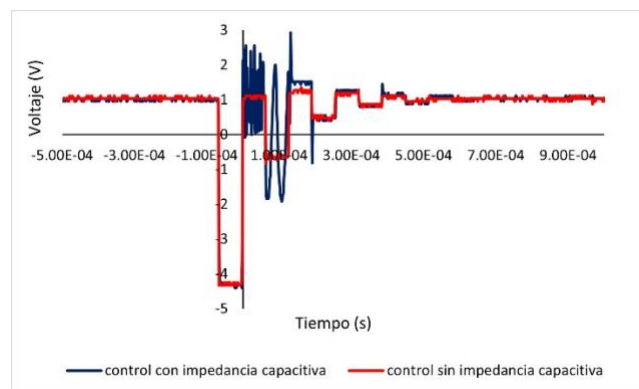


Figura 8. Gráfico de un control de voltaje a un volt con impedancia resistiva en contraposición con impedancia resistiva y capacitiva.

Se puede observar en la figura 8, que el sistema adquiere cierta inercia y no responde de una forma tan eficaz como lo haría con una impedancia resistiva, ya que hay partes del control que dependen del estado anterior de la señal, sin embargo, logra estabilizarse casi a la par que el caso sin impedancia capacitiva, por lo que su comportamiento resulto favorable.

## VI. CONCLUSIONES

En conclusión, el desarrollo y la implementación de esta fuente de voltaje y corriente han sido un gran reto en términos de lograr una medición precisa de la corriente y el voltaje en dispositivos electrónicos. Sin embargo, se encontraron algunas dificultades durante el proceso de desarrollo, como la calibración de los sensores y la compensación de las caídas de voltaje en los cables de prueba. Para construir la fuente de corriente y voltaje, se utilizaron componentes de distintas calidades, eligiendo los de más alta, como el microcontrolador Arduino DUE, múltiples amplificadores operacionales, convertidores analógico-digital. Siendo seleccionados estos componentes cuidadosamente para garantizar una medición precisa y confiable, en el caso de la implementación se comenzó con la caracterización de cada parte antes de lograr conectar todo el circuito, siendo que se tomó en cuenta la parte de señales digitales a analógicas con la cual se utilizó el DAC8831 de 16-bits, para este apartado de la caracterización era convertir la señal o las transferencias de datos proveniente del microcontrolador Arduino Due que son unipolares a una bipolar con una configuración de 2 OpAmps, las complicaciones que se tuvieron fueron en todo caso sobre el control que se tenía para dar para los paquetes de transferencia, siendo que se quería establecer en un óptimo

empeño utilizando el programa cargado en el microcontrolador. Con esto se presentaron distintas dificultades más, siendo que en el momento de la elección de componentes no se precisaba del material adecuado para elaborar las siguientes partes del circuito. Para la parte de la fuente y medición de voltaje al principio se caracterizó con un divisor de voltaje, fungiendo una resistencia como resistencia de shunt y un potenciómetro como DUT (Device Under Test), y esta resistencia tenía que ser bastante pequeña, y aun no se contaba con ella, por lo cual se caracterizó el sistema con diferentes configuraciones, lo que provocaba retrasos y se tenía que comenzar la labor de establecer el control de la nueva configuración. Continuando el apartado de retroalimentación para cerrar el lazo de control del circuito, es convertir la señal bipolar que transmite el DAC en unipolar para que esta pueda estar en el rango de lectura del microcontrolador esto con ayuda del ADCS7476 de 12-bits, el cual convierte la señal analógica a digital. En cuanto a la comunicación entre los componentes, se utilizó un protocolo de comunicación serial para enviar y recibir datos desde el microcontrolador al convertidor analógico-digital. Se implementó una interfaz de usuario para permitir al usuario establecer la configuración del sistema y visualizar los datos de medición en tiempo real.

Este informe ha demostrado la importancia de un enfoque en el desarrollo y la implementación de sistemas de medición y control como el de un SMU. Si bien se encontraron algunas dificultades durante el proceso de desarrollo, el uso de componentes de alta calidad y un enfoque sistemático permitió lograr una medición precisa y confiable. Además, hay oportunidades para mejorar aún más el sistema, lo que podría aumentar su utilidad en la caracterización y prueba de dispositivos electrónicos.

También se encuentra la opción de entregar un producto final funcional, preciso y acorde a los objetivos principales de la práctica haciendo las observaciones más notorias para dentro de un futuro, con componentes de más alta calidad o nuevas tecnologías, las personas interesadas en el perfeccionamiento del proyecto puedan tener un punto de partida y una estructura sobre la cual trabajar.

#### REFERENCIAS

- [1] <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/studentzone/studentzone-december-2017.html>
- [2] <https://www.google.com/amp/s/hetpro-store.com/TUTORIALES/amplificador-de-instrumentacion/amp/>

# Carro de control remoto manipulado por medio de comandos de voz

A. Rodríguez Hernández, E. G. Briones Andrade, O. Núñez Olvera, F. Sánchez Niño  
Instituto de Investigación en Comunicación Óptica – Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí S.L.P, México

**Resumen**—Se diseñó y construyó la interfaz de control de un sistema robótico móvil, como elemento central de control se tiene una aplicación móvil que se desarrolló en el ambiente de programación para aplicaciones móviles llamado APP Inventor, que proporciona dos modos de funcionamiento, manual y por voz. Esta interfaz puede ser instalada en dispositivos Android en donde la aplicación envía comandos inalámbricos por medio del módulo de comunicación bluetooth HC-05, con esto se logra controlar el movimiento de los motores del vehículo.

Como interfaz de control entre la aplicación y el carro se utiliza un microcontrolador PIC18F4550, que es el encargado de la decodificación de los comandos, cada uno de los comandos realiza una tarea particular, como por ejemplo definir la activación y sentido de giro de los motores del robot móvil.

**Índice de términos:** Bluetooth, AppInventor, Microcontrolador, Vehículo.

## I. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo de las tecnologías de información y comunicación han permitido la incorporación de aplicaciones que permiten controlar dispositivos eléctricos mediante comandos de voz, los cuales han permitido que personas cuyas capacidades físicas limitadas o que se han disminuido temporalmente incrementen su nivel de autonomía. En el área de la educación se han incorporado “programas de autoayuda”, cuyo propósito es facilitar el uso de los medios informáticos a usuarios con discapacidad física y en el área de la domótica ha permitido controlar el funcionamiento de los dispositivos que se encuentran de forma regular en el hogar.

El proyecto que se presenta consta de los siguientes sistemas:

Un sistema de reconocimiento de voz el cual tiene la finalidad de establecer el grado de distorsión que puede tener el mensaje, el reconocimiento del lenguaje y recoger la frase una vez reconocida.

El sistema de control del carro se implementó por medio de un microcontrolador 18F4550 de Microchip, los comandos de control se pueden generar de forma manual, así como por comandos de voz. Este sistema también tiene la finalidad de decodificar el dato recibido y de acuerdo con esto asigna un estado el cual se encargará de activar o desactivar los motores, así como indicar la dirección de giro de estos de acuerdo con la acción que se desee realizar

Por último, un sistema de comunicación por bluetooth que tiene la finalidad de recibir los datos enviados desde una aplicación móvil desarrollada en APP Inventor, para inmediatamente después de ser recibidos, se comience con la decodificación por parte del microcontrolador y ejecutar cada una de las tareas asignadas.

## II. SISTEMA ROBÓTICO MÓVIL

El proyecto consiste en un carro controlado de forma remota, mediante el uso de una aplicación móvil, la cual cuenta con dos modos de uso, los cuales son: el modo manual, que implica el uso de botones para seleccionar la dirección en la que se moverá el carro y el uso de un indicador como una barra deslizante para ingresar la velocidad, así como también de un control mediante comandos de voz, con los cuales se indicará tanto la velocidad como la dirección en la que este se moverá. Para esto se utilizó:

- Microcontrolador PIC18F4550
- Modulo bluetooth HC-05
- Puente H L298N
- 4 motorreductores
- 4 llantas omnidireccionales
- Pilas AA

El carro cuenta con 9 movimientos los cuales son:

- Adelante
- Reversa
- Giro Izquierda y derecha hacia adelante
- Giro izquierda y derecha hacia atrás
- Desplazamiento horizontal derecha e izquierda
- Detener

Y se puede variar su velocidad mediante valores de PWM que oscilan entre 200 y 255.

## III. DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL

La aplicación móvil fue desarrollada en APP Inventor, una plataforma de programación para aplicaciones de sistemas Android, la cual está basada en un lenguaje de programación a bloques, lo que permite programar de forma sencilla y rápida. Esta plataforma está conformada de forma general en dos partes, siendo una de ellas el diseño de la interfaz gráfica, y otra donde se genera el código.

Para el presente proyecto el código consistió en dos partes, una con la cual se realizaría el control del carro de forma manual y otra donde se realizaría el control del carro, pero mediante la voz. Pero ambos modos enviarían los datos de la misma forma, que consiste de una cadena de caracteres la cual comienza con un “\*”, el cual tiene como función señalar el inicio de la cadena, posteriormente se enviará un carácter “M” o una “A” que indicará si se está trabajando en el modo Manual o por Voz respectivamente, enseguida se envía el valor correspondiente a la orden de movimiento a realizar (por ejemplo, derecha, izquierda, etc.), el comando correspondiente se puede observar en la tabla 1.

Posteriormente se envía un valor entre 200 y 255 el cual será el valor de la velocidad. Teniendo una cadena conformada por el identificador, el modo, dirección y velocidad.

#### A. Control manual

La aplicación móvil se muestra en la Figura 1, está consta de un joystick, el cual dependiendo de su posición se envía una letra. El joystick se encuentra dividido en 9 secciones, siendo la central la opción de stop, a la cual se regresará siempre que se suelte el joystick. Además, se cuenta con un botón de selección, el cual permitirá controlar el carro ya sea de forma manual o mediante comandos de voz, también cuenta con una barra deslizadora que permitirá enviar un número entre 200 y 255 para el PWM, así como también un botón que permitirá seleccionar el dispositivo bluetooth y así conectarlo al carro, además del respectivo botón de desconexión.



Figura 1. Interfaz gráfica control manual

#### B. Control por Voz

La interfaz gráfica del control de voz se muestra en la figura 2. Está consta de su botón de conexión al módulo bluetooth, un botón de desconexión del bluetooth, y un botón de selección para cambiar al control manual. Además de un botón que al ser presionado abrirá el asistente de voz de Google con el cual se ingresaran los comandos de voz y enviara el dato correspondiente al comando. Los comandos pueden ser dados únicamente indicando la velocidad o únicamente la dirección, o en conjunto, pero siempre en el caso de velocidad debe ser mencionado primero la palabra “velocidad” enseguida del valor entre 200 y 255. La lista de comandos se puede observar en la tabla 1.



Figura 2. Interfaz gráfica control voz

Tabla 1. Lista de comandos de voz

| Comandos de voz                      | Dato por enviar en código ASCII                     |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Adelante                             | F                                                   |
| Atrás                                | A                                                   |
| Izquierda adelante                   | I                                                   |
| Izquierda atrás                      | C                                                   |
| Derecha adelante                     | D                                                   |
| Derecha atrás                        | B                                                   |
| Desplazamiento izquierda             | R                                                   |
| Desplazamiento derecha               | Z                                                   |
| Velocidad + “Número entre 200 y 255” | Carácter ASCII correspondiente al número mencionado |

#### IV. MICROCONTROLADOR

Como dispositivo de control, fue utilizado un microcontrolador PIC18F4550. El cual se encarga de realizar la comunicación entre la aplicación y el robot. Este dispositivo es el encargado de recibir la cadena de caracteres enviada por la aplicación móvil mediante el protocolo de comunicación serial RS232, donde una vez que detecta la entrada de datos, comienza verificando que los datos recibidos inicien con un “\*”, esto debido a que ambos dispositivos (microcontrolador y aplicación) no se encuentran sincronizados, por lo cual es de suma importancia detectar el inicio de la cadena antes de asignar valores.

Una vez detectado el carácter de inicio son separados los datos y asignados a la variable correspondiente, y dependiendo de la información recibida activar o desactivar los pines correspondientes a los motores, así como escribir el ancho de pulso para la señal PWM. El dato recibido y la activación de motores se muestran en la Tabla 2.

Para controlar el sentido de giro de los 4 motorreductores fueron utilizadas 8 señales para el puente h y l para la velocidad por pwm, siendo esta última conectada a los cuatro motorreductores.

**Tabla 2.** Asignación a señales de acuerdo con estado de maquina a ejecutar

| Dato | Estado             | Llanta frontal izquierda |    | Llanta frontal derecha |    | Llanta trasera izquierda |    | Llanta trasera derecha |    |
|------|--------------------|--------------------------|----|------------------------|----|--------------------------|----|------------------------|----|
|      |                    | B7                       | B6 | B5                     | B4 | B3                       | B2 | B1                     | B0 |
| F    | Adelante           | 1                        | 0  | 1                      | 0  | 1                        | 0  | 1                      | 0  |
| D    | Adelante derecha   | 0                        | 0  | 0                      | 1  | 0                        | 0  | 0                      | 1  |
| I    | Adelante izquierda | 1                        | 0  | 0                      | 0  | 1                        | 0  | 0                      | 0  |
| A    | Reversa            | 0                        | 1  | 0                      | 1  | 0                        | 1  | 0                      | 1  |
| B    | Reversa derecha    | 0                        | 1  | 0                      | 0  | 0                        | 1  | 0                      | 0  |
| C    | Reversa izquierda  | 0                        | 0  | 0                      | 1  | 0                        | 0  | 0                      | 1  |
| Z    | Derecha            | 0                        | 1  | 1                      | 0  | 1                        | 0  | 0                      | 1  |
| R    | Izquierda          | 1                        | 0  | 0                      | 1  | 0                        | 1  | 1                      | 0  |
| S    | Stop               | 0                        | 0  | 0                      | 0  | 0                        | 0  | 0                      | 0  |

Los movimientos del carro dependen principalmente del sentido en el que giren los motorreductores, así como también de cuales se encuentren activas y cuales desactivadas.

Un caso especial de movimiento es el de desplazamiento de forma horizontal, para el cual fue necesario el uso de llantas omnidireccionales, las cuales permiten realizar este tipo de movimiento, ya que estas dependiendo del sentido de giro en que sean activados los motorreductores logran hacer el movimiento en horizontal. La combinación de giro de las llantas para realizar este tipo de movimiento se muestra en las figuras 3 y 4.

Para los demás movimientos únicamente es necesario que todas las llantas giren en el mismo sentido o que al menos dos de ellas lo hagan.

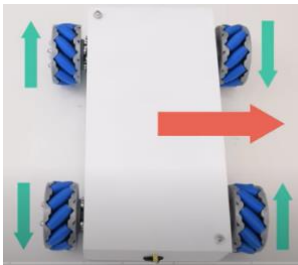


Figura 3. Desplazamiento hacia la derecha

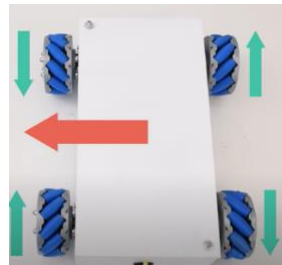


Figura 4. Desplazamiento hacia la izquierda

## V. RESULTADOS

Una vez diseñadas tanto la aplicación como el código a implementar en el microcontrolador, se comenzó realizando algunas pruebas de funcionamiento, siendo una de ellas la comprobación de la comunicación entre el microcontrolador y la aplicación, así como también que efectivamente se estuvieran

enviando las cadenas de caracteres como se deseaba. Las cuales tuvieron un resultado exitoso.

Posteriormente se hicieron pruebas conectando los motores y enviando comandos de dirección y de velocidad, tanto de forma manual como por comandos de voz. Esto con el objetivo de corregir si era necesario el sentido de giro del motor y comprobar que efectivamente este se mueva en la dirección enviada, así como también, comprobar que hubiera cambios de velocidad al variar el valor de PWM.

Estas pruebas dieron como resultado el ajuste de valores que se pueden cargar al PWM, dado que a partir de valores menores a 150 el giro del motor era prácticamente nulo, por lo cual se modificó el programa para que únicamente envíe valores de entre 200 a 255 para la velocidad. Así como también en algunos casos se ajustaron algunos valores para que el carro girara en el sentido correcto.



Figura 9. Carro y aplicación en funcionamiento

## VI. CONCLUSIONES

Se diseñó el sistema de control inalámbrico de un robot del tipo móvil, el cual consiste en una aplicación desarrollada en el entorno de programación APP inventor, un microcontrolador PIC18F4550 que recibe los comandos por medio de un módulo bluetooth HC-05 provenientes de la aplicación del celular. El microcontrolador controla el accionamiento y dirección de los motores de las llantas del carro.

Se plantea como trabajo a futuro desarrollar prototipos de dispositivos electrónicos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas, sistemas de seguridad o bien domótica que sea de bajo costo y alto rendimiento.

## REFERENCIAS

- [1] Moumtadi, F., Granados-Lovera, F. and Delgado-Hernández, J.C. (2013) Activación de Funciones en Edificios inteligentes Utilizando Comandos de Voz Desde Dispositivos móviles, Redalyc.org. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [2] Yopez-López, I. et al. (2019) Activación de Cargas Eléctricas a través de Comandos de Voz Vía Módulo HC – 05 Y arduino, Conciencia Tecnológica. Available at: <https://www.redalyc.org/journal/944/94459796001/movil/>

# Sistema autónomo con control de parámetros para cultivos en interior

Axel Emmanuel Ramírez González, Miguel Ángel Bello Jiménez.

**Resumen**—En este documento se presenta un sistema de control de parámetros, que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de plantas, dicho sistema contiene un arreglo óptico capaz de captar y guiar luz solar hacia algún espacio de cultivo en el interior. De esta manera entra en un modo híbrido de operación y adapta los valores de los parámetros aprovechando la radiación externa que se distribuye en el mismo espacio. Con dos microcontroladores y arreglos electrónicos se pueden sensar y controlar dichos parámetros.

El sistema entra en modo artificial cuando la radiación solar es básicamente nula.

**Abstract**— This document presents a control system for important essential parameters in the growing and development of plants at indoors, such a system contains an optical system capable of capturing and guiding sunlight towards some indoor growing space. In this manner, it enters a hybrid mode of operation and adapts the values of the parameters taking advantage of the external radiation that is distributed in the same space. With two microcontrollers and electronic arrangements it is possible to sense and control these parameters.

The system turns into artificial mode when solar radiation is basically null.

**Palabras clave**— DC, LED.

## I. INTRODUCTION

SE implementa un sistema con suministro eléctrico de un panel fotovoltaico para la alimentación de fuentes de iluminación, control de temperatura y humedad que son parámetros esenciales en las plantas. El sistema contiene un arreglo óptico construido a base de óptica de bulto (lentes, espejos, etc.) para lograr la guía y distribución de radiación solar en un área determinada. Con ayuda de los microcontroladores Arduino UNO y el pic18F4550 en conjunto con electrónica y programación, se es posible controlar los parámetros dentro del espacio en interior en función de la radiación solar que se tiene distribuida, completando así la parte de sensado y control. Se da a conocer la configuración del puente de Wheatstone así como de la etapa de potencia con el convertidor de corriente continua a corriente continua (DC-DC) tipo Boost [3].

24/04/23 “Este proyecto participa para el premio de instrumentación y electrónica 2023, Dr. Gustavo del Castillo y Gama”

Axel Emmanuel Ramírez González está con el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (ICO-UASLP) San Luis Potosí, 78210, México (correo electrónico: a352328@alumnos.uaslp.mx).

## II. MARCO TEÓRICO

Ante la ola inflacionaria que golpea el mundo actualmente, en México en particular, lo que más ha encarecido ha sido la comida, pues se han registrado incrementos de la canasta básica para zonas urbanas y rurales a partir de un 11% iniciando el 2023 [1]. Bajo esta situación y el mismo escenario que se ha vivido con el paso del tiempo se plantea que una alternativa para combatir la problemática consiste en cultivar ciertos alimentos al interior de una vivienda, la razón por la que sea de esta manera es por la arquitectura convencional de las casas en México, en donde los patios de servicio o jardines ocupan un espacio reducido, impidiendo así el desarrollo de plantas causado por la ausencia de luz solar, que también altera otros parámetros esenciales como la temperatura y la humedad.

Para simular la luz solar se buscan lámparas de espectro completo, dichas lámparas tienen la característica de consumir una potencia relativamente grande en comparación con otros electrodomésticos del hogar, esto presentaría un gran gasto a medida que el tiempo pase, pues la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dio a conocer que las tarifas de servicio tendrán un aumento del 7.1% en el 2023 [1]. Debido a esto, el sistema presentado tiene suministro eléctrico de un panel fotovoltaico y con ayuda de microcontroladores, electrónica y programación, se es posible controlar los parámetros dentro del espacio en interior en función de la radiación solar que se tiene distribuida.

## III. PARTES DEL PROYECTO

### A. Etapa de conversión

Esta etapa está dedicada a convertir el voltaje que el panel fotovoltaico otorga en presencia de luz solar de DC a AC. Los convertidores DC-AC se llaman inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada DC a un voltaje simétrico de salida AC, con la magnitud y frecuencias deseadas.

### B. Etapa de potencia

En esta etapa se introduce el concepto de convertidor DC-DC con un circuito tipo boost para elevar el voltaje de manera

Miguel Ángel Bello Jiménez está con el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (ICO-UASLP) San Luis Potosí, 78210, México (miguel.bello@uaslp.mx)

eficiente y poder alimentar más componentes integrados en el sistema.

#### C. Sensado

En esta parte un microcontrolador mide una tensión de un circuito electrónico conocido como puente de Wheatstone, que es un arreglo de cuatro resistencias para determinar el valor de una resistencia desconocida. El arreglo es compatible con señales de DC y AC para su polarización de voltaje. La configuración del puente se realiza con las resistencias conectadas en dos conjuntos de dos resistencias y de esta manera regular la cantidad de luz.

El otro microcontrolador se encarga de leer los cambios de tensión para las variables de temperatura y humedad.

#### D. Control

En esta parte los microcontroladores actúan en simultáneo para mantener el equilibrio de los parámetros inmediatamente después de haber sentido los valores.

### IV. ECUACIONES

#### A. Ciclo de trabajo

$$k = \frac{V_o - V_s}{V_o} \quad (1)$$

#### B. Voltaje de salida

$$V_o = \frac{V_s}{1-k} \quad (2)$$

#### C. Rizo máximo

$$\Delta I_{max} = \frac{V_s}{Lf} \quad (3)$$

Donde  $L$  es el valor de la bobina, y  $f$  la frecuencia.

### V. PROYECCIÓN

Demostrando la funcionalidad del sistema se puede incorporar una nueva etapa de visión con una cámara y técnicas de procesamiento de imágenes, como la segmentación, para el análisis del estado de la planta de acuerdo con su coloración en hojas. Una vez conociendo sus deficiencias o excedentes, se puede programar y adaptar un sistema de riego inteligente, ya sea para nutrir o limpiar el sistema de raíces de la planta.

### VI. CONCLUSIONES

Con base en lo propuesto se puede concluir que es posible controlar los parámetros que rigen el crecimiento y desarrollo de una planta, sin considerar el riego. Se ha argumentado la solución para la problemática en el alza de servicios de energía eléctrica y canasta básica. Se conoce el alcance de proyecto y es posible implementar un sistema que, bajo las condiciones con las que se ha expuesto, tiene viabilidad, pues brinda a las personas una nueva perspectiva para una autonomía alimentaria.

### VII. REFERENCIAS

- [1] M. Flores, “CFE: En qué estados de la República se aplicarán descuentos a los recibos de luz durante la primavera” infobae, Abr. 04, 2023. [En línea]. Disponible: [https://www.infobae.com/mexico/2023/04/04/cfe-en-que-estados-de-la-republica-se-aplicaran-descuentos-a-los-recibos-de-luz-durante-la-primavera/#:~:text=La%20Comisi%C3%B3n%20Federal%20de%20Electricidad%20\(CFE\)%20dio%20a%20conocer%20que,un%20incremento%20respecto%20al%202023](https://www.infobae.com/mexico/2023/04/04/cfe-en-que-estados-de-la-republica-se-aplicaran-descuentos-a-los-recibos-de-luz-durante-la-primavera/#:~:text=La%20Comisi%C3%B3n%20Federal%20de%20Electricidad%20(CFE)%20dio%20a%20conocer%20que,un%20incremento%20respecto%20al%202023).
- [2] A. K. García, “Inflación en México: En enero del 2023 la canasta básica alimentaria fue 11% más cara que el enero pasado” EL ECONOMISTA, Feb. 14, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.eleconomista.com.mx/economia/Inflacion-en-Mexico-En-enero-2023-la-canasta-basica-alimentaria-fue-11-mas-cara-que-el-enero-pasado--20230214-0041.html>
- [3] Rashid Muhammad H. (1995). *Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones* (Segunda edición.). México. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

# Rehabilitación y Actualización de Brazo Robótico

Oscar Alan Viña rete<sup>[1]</sup>

Dionisio Muñoz Rivera<sup>[1]</sup>

Daniel Cardona Loredo<sup>[1]</sup>

Luis David Chow Juárez<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup>Estudiante de Mecatrónica

<sup>[1]</sup>CECyTE Plantel II “Real de Minas”

San Luis Potosí, S.L.P.

Omar Youshimats Mejia<sup>[1]</sup>

Itham Araham Mendoza Avila <sup>[1]</sup>

Diana Loredo Romero <sup>[1]</sup>

Juan Almendárez Rodríguez <sup>[2]</sup>

<sup>[2]</sup>Estudiante de Posgrado

<sup>[2]</sup>IICO UASLP

San Luis Potosí, S.L.P.

**Abstract—** Los brazos roboticos son aquellas maquinas utilizadas en la industria en otras tareas repetitivas ya que ha diferencia del ser humano no se cansan y no requieren de un mantenimiento exhaustivo sino que pueden trabajar horas sin parar en produccion en masa, ademas de la presicion que poseen por eso de ahi la idea de utilizar un brazo ademas de que la escuela poseen una en la escuela.



**Keywords:** *Rehabilitación, programacion, tarjetas de control, LabVIEW, microcontroladores, interfaz, grados de libertad, kinect, mando de XBOX, actualizacion*

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los estudiantes de cualquier nivel educativo obtengan una educación de calidad e integral basada en competencias, es necesario que las instituciones educativas cuenten con los laboratorios y materiales necesarios. En la carrera de mecatrónica los principales materiales didácticos usados para el desarrollo de habilidades y aplicación de conocimientos son los sistemas robóticos, los cuales se encuentran formados principalmente de tres áreas que son: mecánica, electrónica y control.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los problemas que tienen los estudiantes de la carrera de mecatrónica y electrónica de CECyTE Plantel II, es el no poder desarrollar prácticas en prototipos reales y aplicar los conocimientos adquiridos dentro del aula, debido a la falta de materiales y equipo para poder poner en práctica estos. El problema afecta a los alumnos de una manera considerable ya que al no tener material didáctico es más difícil conocer acerca

de las maquinas o robots físicamente y así se cierra el campo del conocimiento hacia estos de manera que al tratar de manipular algún prototipo será más difícil ya que no se tienen conocimientos previos, además provocara que los egresados de la institución sean menos competitivos que los de otras. Otro de los problemas que se ven es el poder aplicar los conocimientos de las asignaturas que están establecidas para los estudiantes como por ejemplo, es difícil el conocer interfaces y plataformas para uso de programación en dispositivos debido a la falta de material didáctico es otro causante de que los conocimientos no sean tan amplios.

Un brazo robótico es un tipo de brazo mecánico, normalmente programable, con funciones parecidas a las de un brazo humano; este puede ser la suma total del mecanismo o puede ser parte de un robot más complejo. Las partes de estos manipuladores o brazos son interconectadas a través de articulaciones que permiten, tanto un movimiento rotacional, como un movimiento traslacional o desplazamiento lineal, por lo que es realmente útil en la implementación de prácticas en la carrera de mecatrónica.



### III. OBJETIVO

Al no contar con materiales didácticos para la aplicación de los conocimientos adquiridos en el aula se llegó a la conclusión de que la rehabilitación y actualización del brazo robótico que se encontraba en estado de abandono en las instalaciones de CECyTE plantel II, donado hace algunos años por la universidad politécnica, sería el principio del desarrollo de habilidades que no se desarrollaban en la institución. Ampliando así las posibilidades de que los alumnos puedan tener mejores oportunidades de aprendizaje en muchas ramas conociendo diversas plataformas de programación, interfaz, desarrollando innovaciones, ya que también nos encontramos en un mundo en constante cambio, es necesario que los materiales o equipo destinado a realizar prácticas por los estudiantes, sea moderno, útil y que además ayude al desarrollo de los conocimientos mediante su aplicación en temas de actualidad. Con esto, los estudiantes podrán darle un sinfín de usos todo a favor de la superación y el conocimiento.

Esta idea no solo se puede aplicar dentro de CECyTE Plantel II, sino que se puede extender a otras instituciones e incluso a la industria, pues bien se sabe que para algunas instituciones de educación es difícil hacerse de materiales didácticos de actualidad, con los que ya cuenta, esencialmente la parte mecánica se puede actualizar tanto hardware como software (el propiamente desarrollado), brindando un servicio de bajo costo para las escuelas, por lo que brazos robóticos que se encontraban descompuestos, pueden volver a ser puestos en marcha y actualizados, logrando que la educación en México sea de calidad y actualidad, además de que se despierta el interés de los alumnos por la ciencia.

#### A. Descripción del Proyecto

El brazo robótico cuenta con las siguientes características:

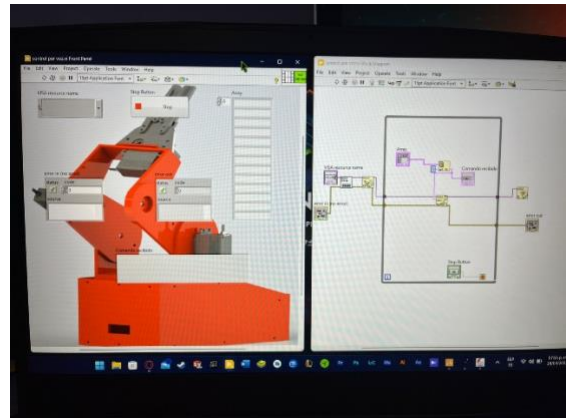
- 6 grados de libertad
- Tarjetas de control compatibles con Arduino, Launchpad, Microcontroladores PIC, Puerto paralelo de PC's, microcomputadoras.
- Control por teclado de computadora, voz, Kinect, celular con Android, mando inalámbrico de Xbox, rutinas programadas y Raspberry PI.
- Software que permite ampliar las funcionalidades sin tener que comenzar desde cero.
- Largo 180 cm.
- Alto 160 cm.
- Ancho 50 cm.
- Peso 55 Kg.
- Consumo eléctrico 80 W.
- Interfaz de conexión USB.
- Sistemas operativos compatibles XP, Vista, Windows 7, Windows 8.



#### B. Características

Este brazo robótico al igual que su software y hardware, fueron principalmente desarrollados para el sector educativo, en la búsqueda de poder desarrollar habilidades en la aplicación del conocimiento adquirido en el aula, se encontraron las siguientes ventajas:

- El hardware y software son compatibles con una innumerable cantidad de brazos robóticos.
- La compatibilidad y la interfaz USB permiten la actualización de otros dispositivos que se encuentren en desuso.
- Posibilidad de la realización de una gran cantidad de prácticas de distintas materias que se imparten en ingeniería.
- Conectividad para su control con diferentes dispositivos.
- Posibilidad de actualizar brazos robóticos industriales, los cuales contaban con interfaces que se encuentran descontinuadas, permitiendo a empresas ahorrar grandes cantidades de dinero.
- Compatibilidad con la mayoría de sistemas operativos existentes en el mercado.
- Bajo costo para la actualización de otros brazos robóticos..



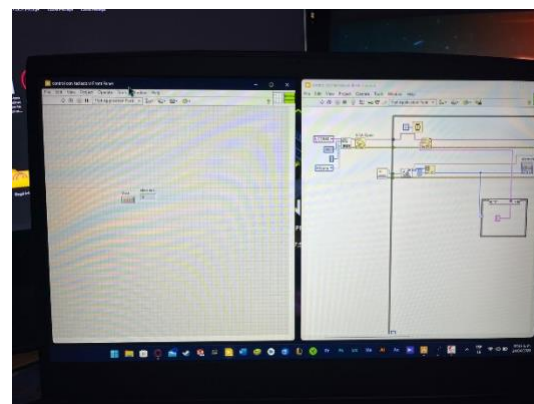
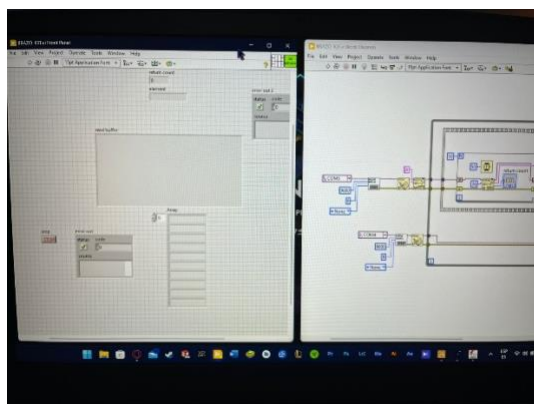
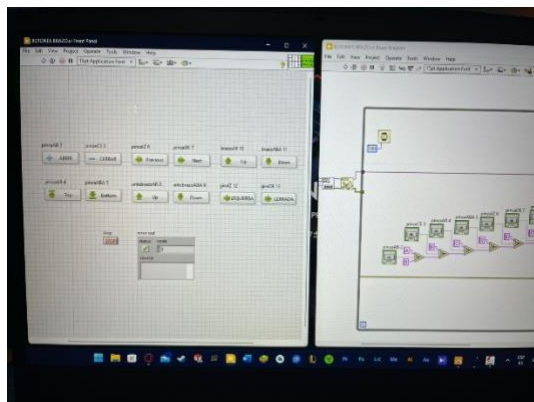
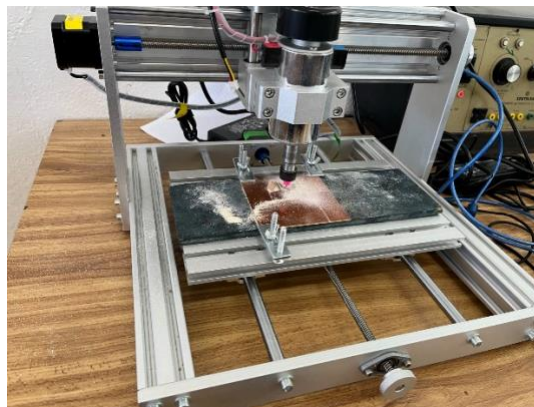
El desarrollo se encuentra en funcionamiento, con los sistemas mencionados anteriormente, pero aún pueden realizarse actualizaciones, ya que el hardware desarrollado así nos lo permite.

### IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

En el desarrollo del proyecto se siguieron los siguientes pasos:

1. Revisión de la parte mecánica del brazo robótico.
2. Desmontaje de mecanismos.
3. Prueba de motores.
4. Limpieza de partes.
5. Ensamble de la parte mecánica del brazo robótico.
6. Sustitución de piezas mecánicas dañadas.
7. Conexión de motores montados.
8. Pruebas de movimiento mediante la activación directa de motores.
9. Diseño de tarjetas de control.

10. Realización de tarjetas.
11. Soldadura de componentes.
12. Prueba de tarjetas.
13. Conexión de motores y tarjetas de control.
14. Pruebas de funcionamiento.
15. Investigación de microcontroladores.
16. Programación de rutinas de microcontroladores.
17. Pruebas de movimiento de brazo robótico mediante microcontrolador.
18. Búsqueda de tarjetas de adquisición de datos.
19. Operación de microcontrolador como tarjeta de adquisición de datos.
20. Conexión entre el software LabVIEW y LaunchPad.
21. Manejo de teclado con LabVIEW.
22. Prueba del primer sistema interconectando motores, tarjetas de control, tarjeta de adquisición de datos y software.
23. Resolución de errores.
24. Verificación del funcionamiento correcto del sistema.
25. Generación de rutina programada.
26. Investigación acerca de Kinect.
27. Desarrollo de software para el control del brazo por medio de Kinect.
28. Realización de interfaz para mando inalámbrico de Xbox.
29. Prueba de dispositivo.
30. Investigación sobre reconocimiento de voz.
31. Diseño de software para el control por voz.
32. Interconexión de Android con LabVIEW.
33. Control de brazo robótico por medio de celular.
34. Implementación de control por internet.
35. Rediseño de tarjetas de control.
36. Prueba de sistemas con nuevas tarjetas de control.
37. Implementación de nuevos microcontroladores.



El proceso de rehabilitación y actualización del brazo tomo alrededor de un año, para llegar al punto en el que se encuentra en este momento, esto debido a que nos hacían falta muchas de las bases prácticas que no habíamos desarrollado por falta de material didáctico y que fueron compensadas con la explicación constante de los temas por parte de nuestro asesor.

No se llevó a cabo una calendarización de los eventos realizados durante el desarrollo del proyecto, ya que este se llevó a cabo como trabajo adicional a los deberes escolares y motivados por el deseo de aprender más y a la falta de materiales didácticos dentro de la institución.

## V. CONCLUSIONES

En conclusión se pudo llegar al objetivo inicial del proyecto, además de sobrepasar este debido a la dedicación del equipo y trabajo que se realizó, un punto importante fue la atención

prestada por nuestro asesor, el cual tuvo el tiempo y la paciencia de explicarnos los temas que no conocíamos como la programación en LabVIEW, la cual no se da en nuestra institución pero ahora es entendible por nosotros.

La versatilidad del software y hardware nos permite extendernos hacia otras instituciones educativas que se encuentren en la misma situación, además de extenderse a la industria. El desarrollo de este proyecto permite que los docentes puedan seguir con sus materias sin afectar sus contenidos, sino que al contrario pueden apoyarse en este para que los alumnos apliquen el conocimiento adquirido en el aula, y así desarrollen habilidades que les sirvan para resolver problemas que se les presenten tanto en su vida laboral y social.

#### REFERENCES

- [1] Arduino. (14 de Marzo de 2014). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/es/pmwiki.php?n=>
- [2] Banzi, M. (2011). Getting Started whit Arduino. En M. Banzi, *Getting Started whit Arduino* (pág. 130). O'Reilly Media.
- [3] EAGLE, C. (12 de Mayo de 2014). *EAGLE*. Obtenido de <http://www.cadsoftusa.com/>
- [4] energia. (15 de Mayo de 2014). *energia*. Obtenido de <http://energia.nu/>
- [5] Fernández, A. (2013). Getting Started with the MSP430 Launchpad. En A. Fernández, *Getting Started with the MSP430 Launchpad* (pág. 200). Newnes.
- [6] Instruments, N. (30 de Abril de 2014). *National Instruments*. Obtenido de <http://mexico.ni.com/>
- [7] Instruments, T. (12 de Julio de 2014). *TI Launchpad Evaluation Ecosystem*. Obtenido de <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpad.html>
- [8] Matt Richardson, S. W. (2012). Getting Started whit Raspberry Pi. En S. W. Matt Richardson, *Getting Started whit Raspberry Pi* (pág. 180). O'Reilly Media.
- [9] Microchip. (13 de Junio de 2014). *microchip MCUs*. Obtenido de <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/products/picmicrocontrollers>
- [10] Microsoft. (13 de Junio de 2014). *Kinect en la educaciòn*. Obtenido de <http://www.microsoft.com/es-xl/educacion/productos/kinect.aspx>
- [11] Pi, R. (7 de Mayo de 2014). *Raspberry Pi*. Obtenido de <http://www.raspberrypi.org/>

# Creación de entornos virtuales en Gazebo

F.A. Ruiz-Ponce, Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Carrera Ingeniería en electrónica, San Luis Potosí, México.

J.M. Fortuna-Cervantes, Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Departamento de Ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica, San Luis Potosí, México.

E. Rivera-Bravo, Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Departamento de Ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica, San Luis Potosí, México.

**Resumen** – Los avances tecnológicos han generado cambios en la manera en que las personas interactúan con su entorno, incluyendo el desarrollo de entornos virtuales inmersivos en 3D. Este proyecto tiene como objetivo mostrar el potencial de los entornos virtuales y como pueden llegar a ser una herramienta clave para el desarrollo de distintas áreas, ya sea de investigación o de desarrollo. En este proyecto se utiliza la simulación del reconocimiento de un terreno utilizando un dron como ejemplo de cómo los entornos virtuales pueden llegar a ser una herramienta clave para el desarrollo de aplicaciones en la educación, el entrenamiento y la simulación de situaciones peligrosas. Para lograr esto se utiliza como herramienta principal el software de simulación Gazebo, junto a ROS Melodic para la asignación de funciones y programación del dron.

**Índice de Términos** – Entornos virtuales, Gazebo, ROS Melodic, Simulación

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances tecnológicos han progresado velozmente y han generado cambios en la manera en que las personas se relacionan con su entorno. Uno de los progresos más notables ha sido el desarrollo de entornos virtuales que brindan una experiencia inmersiva y realista, lo cual permite a los usuarios interactuar con objetos y escenarios en 3D.

El objetivo de este proyecto es dar a conocer el potencial del uso de entornos virtuales, para ello en este proyecto se utiliza como ejemplo el uso de entornos virtuales para simular el reconocimiento de un terreno con el uso de un dron [1, 2]. Con esto se espera que los entornos virtuales sean reconocidos como una herramienta útil para una variedad de aplicaciones, como la educación, el entrenamiento y la simulación de situaciones peligrosas, lo que abre nuevas posibilidades en áreas como el diseño de productos y la investigación científica.

## II. MOTIVACIÓN

La motivación de este proyecto es dar a conocer el potencial y promover el uso de los entornos virtuales en distintas aplicaciones como la educación, el entrenamiento y la simulación de situaciones peligrosas, además de mejorar la calidad de la capacitación y reducir los costos que estos conllevan, por todos estos motivos y por todas las posibilidades que ofrecen los entornos virtuales, se desarrolla este proyecto, con la finalidad de demostrarlo.

## III. METODOLOGÍA

Este proyecto tiene como objetivo promover el uso de entornos virtuales para distintas aplicaciones, pero por motivos de tiempo, se ha delimitado el proyecto a una sola aplicación. El uso de los entornos virtuales para el entrenamiento de pilotos de drones en el reconocimiento de zonas de difícil acceso. Con este ejemplo definido, se procede a obtener el software requerido para esta tarea.

El software por utilizar es Gazebo, por lo que es necesario la instalación de Ubuntu, en este caso se utiliza la versión de Ubuntu 18.04. Para poder manejar Gazebo es necesario contar con ROS, la versión de ROS cambia dependiendo de la versión de Ubuntu que se maneje, en este caso para la versión de Ubuntu 18.04 corresponde ROS Melodic. ROS maneja un sistema distribuido y esto permite el control y accionamiento de múltiples sistemas de una manera sencilla. Por otra parte, se resalta que el diseño y simulación de dichos ambientes se puede realizar mediante la integración de un *framework* y un simulador, en este caso ROS y Gazebo respectivamente [3, 4].

Gazebo es un simulador en 3D, que ofrece la capacidad de simular de manera precisa una gran diversidad de robots, objetos y sensores en ambientes complejos gracias a los paquetes que proporciona ROS [5], este simulador es capaz de generar la retroalimentación realista de sensores, y de las físicas resultantes de las interacciones de los objetos físicamente plausibles.

Todo esto es posible gracias a la comunicación entre ROS y Gazebo que funciona con el sistema de comunicación de procesos de ROS basado en nodos. Un nodo no es más que un proceso que realiza cálculos o, dicho de una forma menos abstracta, un “programa”, unos ejemplos de nodos pueden ser

un programa que controla un motor y un sensor que detecte una distancia recorrida por un robot.

La comunicación entre nodos requiere distintos tipos de mensajes, conocidos como *topics*. Los *topics* son temas de conversación en los que los distintos nodos pueden “aportar” o “adquirir” información. Si un nodo aporta información se le conoce como *Publisher*, pero si al contrario adquiere información se le conoce como *Suscriber*, ver Figura 1. Además, los nodos pueden ser *Publisher* o *Suscriber* de uno o más *topics* al mismo tiempo [6].

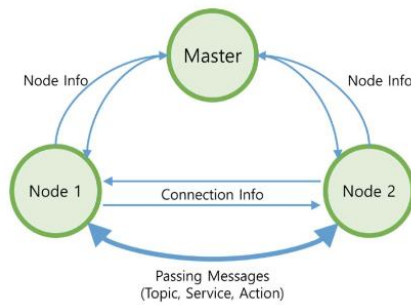


Figura 1.- Esquema de comunicación entre nodos y el master en ROS.

Debido a esta comunicación por nodos, la integración de sensores a un dron como el que se utiliza en este proyecto es más sencilla, además que es posible integrar otras cualidades si así lo desea el usuario, por todas estas cualidades, es que se utiliza Gazebo, ver Figura 2, para la creación del entorno virtual que se utiliza en este proyecto.



Figura 2.- Imagen del software utilizado para la creación del entorno virtual.

#### A. Uso de modelos 3D

Es posible crear un mundo virtual en Gazebo usando los modelos 3D disponibles por defecto en Gazebo, aunque también es posible descargar modelos de uso público en la red y agregarlos para utilizarlos en futuros proyectos, estos modelos se representan como una lista, ver Figura 3, y para colocarlos hay que seleccionarlos y colocarlos en el plano generado por el simulador, ver Figura 4.

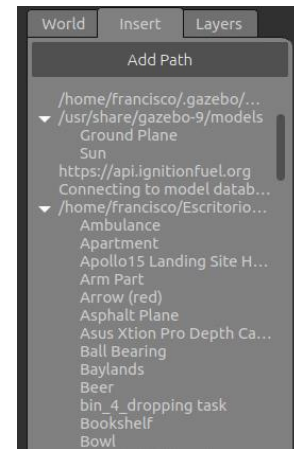


Figura 3.- Lista de modelos agregados en Gazebo.

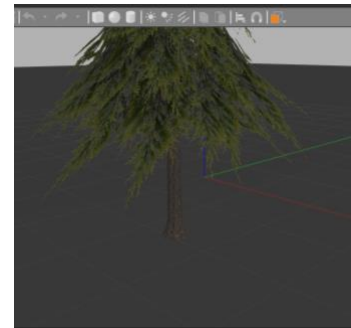


Figura 4.- Plano generado por defecto en Gazebo con modelo de un árbol.

Gazebo tiene una gran cantidad de modelos, además es posible implementar más modelos en 3D, con la ayuda de un software especializado como es Blender.

Blender es un programa informático multiplataforma, que puede usarse en diferentes arquitecturas (Microsoft, Mac OS X, Linux y otras más) dedicado al modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales e interactivos [7], además que actualmente Blender es un software libre, por lo que se cuenta con una gran cantidad de información en internet sobre cómo utilizar este software de modelado en 3D.

Ya que es posible realizar modelos 3D con Blender e importarlos a Gazebo, las posibilidades para recrear cualquier entorno virtual dependen únicamente de la visión e imaginación del usuario, por lo que las opciones para utilizar modelos 3D se reducen a descargarlos de una base de datos o crear modelos propios según los intereses del usuario.

#### B. El entorno virtual

Usando los modelos obtenidos se diseñó un entorno virtual, ver Figura 5 y 6, que se utilizara con la aplicación propuesta de reconocimiento de terreno con el uso de un dron.

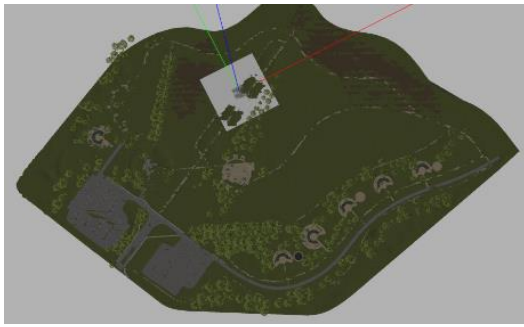


Figura 5.- Entorno virtual vista aerea.



Figura 6.- Entorno virtual, vista senital del entorno de la figura anterior.

El entorno virtual recrea el terreno perteneciente a un conjunto de viviendas, aunque este entorno virtual sea muy extenso, es posible crear entornos mas simples y pequeños, con los que la carga que debe soportar la computadora es mucho menor en comparación con el utilizado en este proyecto.

Para realizar el reconocimiento del terreno se equipo al dron de la simulación con un sensor laser, ver Figura 7, con el que se simula la obtención de información del terreno, ademas es posible observar el alcance del sensor laser, y como seria la interacción entre el dron y el entorno real.

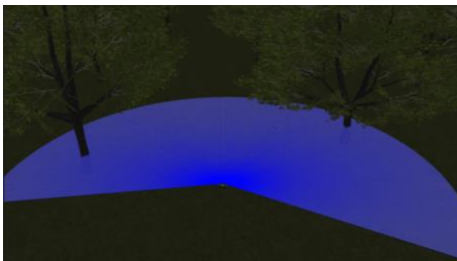


Figura 7.- Dron realizando un reconocimiento de terreno con laser (Area azul).

Como un ejemplo adicional, utilizando los distintos modelos disponibles, se creo el entorno virtual de la figura 8, que representa el tramo de una via publica. El entorno virtual de la figura 8 puede ayudar en la logistica de construccion de infraestructura o en la planeacion de la reparacion de una calle.



Figura 8.- Entorno virtual de un tramo de una via publica.

#### IV. CONCLUSIÓN

En conclusión, el uso de entornos virtuales ofrece una amplia gama de beneficios en una variedad de campos, desde la educación hasta el desarrollo de software y la simulación de situaciones de la vida real.

Gracias a que en Gazebo se puede recrear en un entorno virtual un espacio existente en un entorno real, y que es posible interactuar con este entorno a través de robots programados con el sistema operativo ROS, se concluye, que los limites para las aplicaciones de los entornos virtuales es definido por la imaginación del usuario y de sus necesidades.

Se espera que lo presentado en este proyecto ayude con la experimentación en un entorno controlado y seguro, lo que ayude reducir el costo y los riesgos relacionados con la capacitación, además de reducir las pérdidas al momento de probar nuevas tecnologías.

#### REFERENCIAS

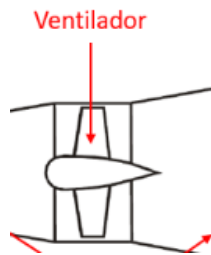
- [1] M. Ibáñez Rubio, "Control de vuelo para seguimiento de trayectorias de un cuadricóptero simulado mediante ROS/Gazebo", Trabajo Fin de Grado, Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Zaragoza, 2020.
- [2] Dionisio Ortega, S., Rojas-Perez, L. O., Martinez-Carranza, J., & Cruz-Vega, I. (2018, February). A deep learning approach towards autonomous flight in forest environments. In 2018 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP) (pp. 139-144). IEEE.
- [3] J. P. Rojas Bustos, "entorno virtual para la simulación de un robot móvil sobre el framework ros", Monografía, Facultad de ingeniería mecatrónica, Universidad Piloto De Colombia, Bogotá, 2015.
- [4] A. A. Cabrera-Ponce, L. O. Rojas-Perez, J. A. Carrasco-Ochoa, J. F. Martinez-Trinidad and J. Martinez-Carranza, "Gate Detection for Micro Aerial Vehicles using a Single Shot Detector," in IEEE Latin America Transactions, vol. 17, no. 12, pp. 2045-2052, December 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.9011550.
- [5] A. Pastor Conesa, "Estudio, Diseño y Desarrollo del Sistema de Control de un UAV a Través de un Dispositivo Móvil Inteligente", Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica De Cartagena, Cartagena, 2016.
- [6] N. I. Sanjuán Tejedor, "Simulación de objetos deformables en ROS y Gazebo", Trabajo Fin de Grado, Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Zaragoza, 2021.
- [7] A. Fernández Rodríguez, J. Valdaracete Peinado, "Introducción a Blender", Proyecto fin de carrera, Escuela Universitaria De Ingeniería Técnica De Telecomunicación, 2012.

# Túnel de viento

Sandra M. Orocio Tenorio, Durón Méndez Montserrat, Aldo Pérez Gómez, Abraham Isaac Nava Márquez, Joel Gonzáles Morales

## I. INTRODUCCIÓN

Un túnel de viento es una herramienta de investigación la cual tiene la finalidad de ayudar en el estudio de efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos. Con esta herramienta se simulan las condiciones que experimenta un objeto de la investigación en una situación real. Este instrumento fue creado por el ingeniero militar inglés Benjamín Robins en 1897. Robins inventó este túnel para realizar experimentos de resistencia dentro de la teoría de la aviación.

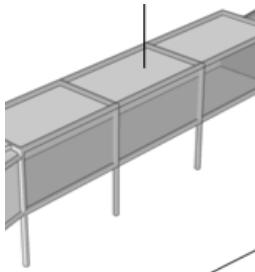


## II. DESARROLLO

Se utilizaron los siguientes materiales

### A. Conducto

El conducto del túnel de viento se puede construir con una variedad de materiales, incluyendo chapa de acero, fibra de vidrio o PVC.



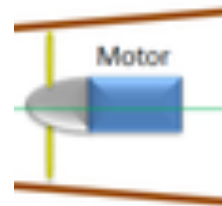
Es importante asegurarse de que el material seleccionado sea lo suficientemente resistente para soportar la velocidad del aire y las fuerzas asociadas.

### B. Ventilador

El ventilador es una parte clave del túnel de viento, ya que se pueden usar ventiladores axiales o centrífugos. Los ventiladores centrífugos son ideales para construcciones más pequeñas. Los ventiladores axiales son más adecuados para túneles de viento más grandes.

### C. Motor

El motor debe ser seleccionado según las especificaciones del ventilador, asegurándose de que pueda proporcionar suficiente potencia para el flujo de aire deseado.

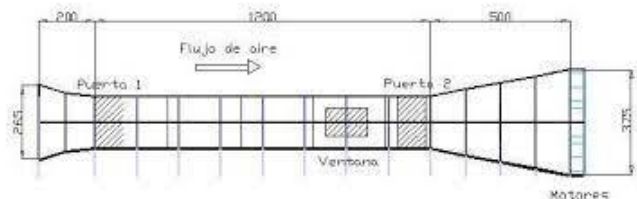


### D. Instrumentación

La instrumentación es importante para medir y registrar la velocidad del aire, la presión y otros parámetros importantes. Los sensores de presión, velocímetros y anemómetros son algunos de los instrumentos comunes que se utilizan en la construcción de túneles de viento.

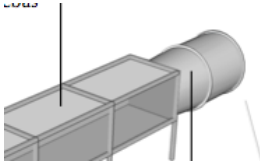
### E. Diseño

El diseño del túnel de viento puede variar dependiendo de su uso previsto y de los recursos disponibles.



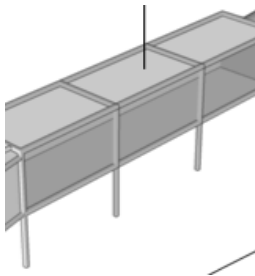
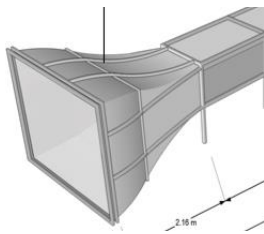
### F. Entrada

La entrada del túnel de viento es donde se introduce el aire en el conducto. Debe tener una forma adecuada para garantizar un flujo de aire uniforme en todo el conducto.



### G. Conducto

Debe ser lo suficientemente grande para acomodar el objeto que se va a probar, pero lo suficientemente pequeño para que el flujo de aire sea uniforme. Se debe tomar en cuenta la forma del conducto y las paredes de entrada y salida para garantizar un flujo de aire uniforme.



### H. Salida

La salida del túnel de viento es donde se libera el aire del conducto. Al igual que la entrada, se debe tener una forma adecuada para garantizar un flujo de aire uniforme.

### I. Ventilador

El ventilador es el responsable de crear el flujo de aire en el túnel de viento. Este debe estar ubicado cerca de la entrada y tener suficiente potencia para generar el flujo de aire deseado.



### J. Motor

Debe estar conectado al ventilador ya que proporciona la energía necesaria para hacer funcionar el ventilador. Debe ser lo suficientemente potente para manejar la carga del ventilador.



## III. DISEÑO

El primer paso en el diseño de un túnel de viento es determinar el tamaño y la forma de la sección de prueba en función de los usos previstos de la instalación. El uso principal es la prueba de vehículos y componentes de vehículos, ya que muchos túneles se construyen para este propósito. Se llevan a cabo pruebas de fuerza con el objetivo de buscar información para el rendimiento, la eficiencia del combustible, la estabilidad o el control de un vehículo que puede ser un avión, un automóvil, un submarino o posiblemente otros.

El tamaño, la velocidad y el diseño de la sección de prueba determinarán la potencia requerida. El tamaño será uno de los principales factores para determinar los costos estructurales y la energía y las horas de operación determinarán la porción de energía del costo operativo. La alta velocidad y el gran tamaño son, demandas competitivas.

Las pérdidas en el caso del túnel de viento ocurren debido a la fricción en los límites.

Las secciones de prueba utilizadas incluyen formas como redondas, elípticas, cuadradas, rectangulares, hexagonales, octogonales y rectangulares con esquinas fileteadas, techo plano y piso con extremos semicirculares. El costo y la potencia están determinados por el área de la sección transversal y la longitud de las secciones. La forma de esta sección de prueba debe basarse en la utilidad y las consideraciones de la aerodinámica de los modelos a probar.

A medida que el aire avanza a lo largo de la sección de prueba, la capa límite se espesa, lo que reduce el área efectiva del chorro de las dimensiones geométricas y provoca un aumento en la velocidad del flujo fuera de las capas límite de la

pared.

El difusor de un túnel de viento de retorno normalmente se extiende desde aguas abajo de la sección de prueba hasta la tercera esquina del túnel. Este está dividido en dos partes por el ventilador del túnel y se espera que las pérdidas de potencia en cualquier punto del túnel varíen a medida que se eleva la velocidad al cubo.

El propósito del difusor es reducir la velocidad con la menor pérdida de energía posible y también la mínima pérdida de energía corresponde a la máxima recuperación de presión. Los difusores son elementos comunes en los dispositivos de flujo de fluidos y, en cualquier aplicación, el ángulo de cono equivalente puede ser bastante grande. Son posibles ángulos relativamente grandes para el caso de flujo uniforme que ingresa al extremo aguas arriba del difusor.

El cono o boquilla de contracción lleva el flujo de la cámara de sedimentación a la sección de prueba mientras aumenta la velocidad promedio en factores de hasta 20 o más, aunque los valores típicos están en el rango de 6-10. De hecho, la boquilla nunca tiene forma cónica y comprende una geometría de curvas.

La cámara de estancamiento ubicada justo antes del cono de contracción y es la parte del circuito del túnel de viento que tiene el área de sección transversal más grande. Esta parte tiene una gran influencia en la calidad del flujo en la sección de prueba.

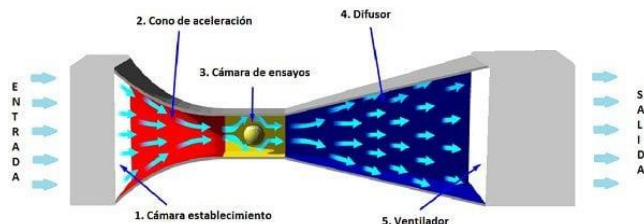
El enderezador de flujo son elementos utilizados para suavizar y enderezar el flujo turbulento e irregular que es aspirado por el túnel de viento. Suelen ser tramos de enderezado que son cuadrados, rectángulos, hexágonos y círculos.

no requieren refrigeración, el funcionamiento intensivo en verano hará que los operadores de túneles deseen tenerla.

El diseño aerodinámico es un hecho importante de la aerodinámica. Los aspectos aerodinámicos de los túneles de viento circunscriben principalmente el mantenimiento de la capa límite hidrodinámica y para asegurarse de que las pérdidas o los puntos de estancamiento a lo largo del túnel de viento sean mínimos.

## REFERENCES

- [1] Gleason, Alister (2020), Study of Aerofoil Design Parameters for Low Speed Wind Tunnel, India, Mechanical Engineering.
- [2] Alonso (2022), ¿Qué es un túnel de viento de la F1?, México, Go Sports
- [3] Hermana, David (2023), ¿Qué es un túnel de viento en la F1 y como funciona?, España, Dazn News



### A. Sistema de Accionamiento

El ventilador se encuentra aguas abajo del difusor. El ventilador está colocado en una carcasa circular de chapa MS. También se está produciendo algo de expansión en el túnel de viento con un difusor de expansión, ubicado en los silenciadores para mantener al mínimo la longitud total del circuito del túnel de viento.

La carga estructural en las diversas secciones de un túnel de viento de baja velocidad suele ser menos crítica que la fuerza necesaria para evitar vibraciones, siendo una excepción significativa la garantía de que el motor de accionamiento permanecerá en su lugar si pierde la mitad de sus palas.

Para la construcción de túneles se utilizan todo tipo de materiales: madera, madera contrachapada, metal fino, metal pesado, hormigón colado, granito y plásticos. Aunque existe un "acuerdo general" de que los túneles de viento de baja velocidad

# Invernadero automatizado

Margarita de Avril Castillo Molina, Valeria Geraldine Meléndez Medina, Andrea Joselin Zavala Espinosa, Jesús Salvador Quistian Pérez.

## I. INTRODUCCIÓN

Los invernaderos automatizados son estructuras en las que se cultivan plantas protegidas y controladas en un su ambiente, con la ayuda de sistemas de automatización que monitorean y regulan las condiciones ambientales. La automatización en los invernaderos se refiere a la integración de tecnologías avanzadas, como sensores, sistemas de riego, ventilación, iluminación y control de clima, que permiten un monitoreo y control precisos y en tiempo real de las condiciones ambientales. Los sistemas automatizados permiten una producción más eficiente y rentable, asegurando que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua y nutrientes en todo momento. Lo que se busca es concientizar sobre la importancia del agua en los cultivos, dar una solución para que se utilice de una manera responsable y conciente.

En este informe se describirá el procedimiento para construir un invernadero automatizado con sistema de riego automático y suministro de materiales, así como las conclusiones sobre su potencial.

Materiales para el sistema de automatización:

- Un protoboard
- 2 relés
- 1 sensor de humedad
- 1 sensor de humedad y temperatura
- 1 motor
- 1 hélice
- 1 pila 9v
- 1 arduino (tipo 1)
- Un conector (5volts)
- 1 pantalla LCD
- Resistencias de 330Ω
- Leds (se utilizaran leds azules, para ayudar al crecimiento vegetativo)
- Un cable macho macho
- Una mini bomba
- 1 potenciómetro de 10k
- Un conector de pila

Materiales para el invernadero:

- Tierra preparada
- Madera
- Una manguera

## II. PROCEDIMIENTO

El procedimiento para construir un invernadero automatizado con sistema de riego automático se basa en los siguientes pasos:

- Diseño del invernadero
- Selección del sistema de riego
- Instalación del sistema de riego
- Instalación de sensores
- Instalación del sistema de suministro de materiales
- Pruebas y ajustes

El diseño del invernadero es un factor importante para la eficiencia del sistema. La selección del sistema de riego es importante y debe adaptarse a las necesidades de los cultivos y las características del invernadero. Los sensores son necesarios para detectar la humedad del suelo y activar el riego cuando sea necesario, y el sistema de suministro de materiales puede suministrar agua, nutrientes y otros insumos automáticamente. Finalmente, se deben realizar pruebas y ajustes para asegurarse de que el sistema funciona correctamente.

## III. CONCLUSIONES

Los invernaderos automatizados con sistemas de riego automático y suministro de materiales pueden aumentar la productividad y la calidad de los cultivos al garantizar que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua y nutrientes en todo momento. Además, la automatización del proceso puede ahorrar tiempo y reducir los costos de mano de obra, los sistemas automatizados pueden proporcionar datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones ambientales, lo que permite a los productores tomar decisiones más informadas y mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos. Es importante realizar un análisis de costos y beneficios antes de construir un invernadero automatizado y seleccionar los sistemas y tecnologías adecuados para las necesidades y objetivos específicos.

## REFERENCIAS

- [1] Afonso, E. (2020). Evaluación de la automatización en un invernadero de fresa. Tesis de Grado. Universidad de La Laguna.
- [2] Sánchez-Romero, M., Martínez, E., & Pérez-Rodríguez, J. (2017). Automatización de invernaderos para la optimización de recursos hídricos. *Ingeniería y Agua*, 22(2), 97-109
- [3] Gómez, J. (2021). Invernaderos automatizados: qué son, beneficios y tipos. *Agromática*.
- [4] - Marín, F., & Solano, R. (2019). Automatización de invernaderos: un estudio de caso en la provincia de Almería. *Revista de Investigación en Agricultura y Tecnología Agroalimentaria*
- [5] - Zheng, H., Su, Y., Li, H., Xu, Q., & Zhu, Z. (2021). A review of research on greenhouse automation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2, 100070.